

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-096585

(43)Date of publication of application : 09.04.1999

(51)Int.Cl.

G11B 7/135

(21)Application number : 09-286954

(71)Applicant : KONICA CORP

(22)Date of filing : 20.10.1997

(72)Inventor : ARAI NORIKAZU
YAMAZAKI NORIYUKI
SAITO SHINICHIRO

(30)Priority

Priority number : 08280750

Priority date : 23.10.1996

Priority country : JP

09 42222

26.02.1997

09197076

23.07.1997

JP

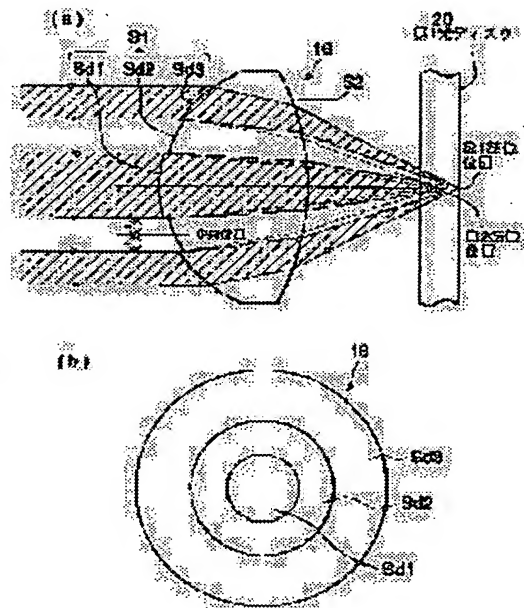
JP

(54) RECORDING/REPRODUCING METHOD OF OPTICAL INFORMATION RECORDING MEDIUM, OPTICAL PICKUP DEVICE, CONDENSER OPTICAL SYSTEM, OBJECTIVE LENS AND METHOD FOR DESIGNING OBJECTIVE LENS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reproduce plural optical disks with one condenser optical system, to embody the reproduction at a low cost without complication and to deal with the optical disk of high NA as well.

SOLUTION: The refraction surface S1 on the light source side of the objective lens 16 of the optical pickup device is provided with three splitting surfaces Sd1 to Sd3. The luminous fluxes passing the first splitting surface Sd1 and the third splitting surface Sd3 are utilized at the time of reproducing the first optical disk of t1 in the thickness of a transparent substrate and the luminous fluxes passing the first splitting surface Sd1 and the second splitting surface Sd2 are utilized at the time of reproducing the second optical disk of t2 ($t_2 \neq t_1$) in the thickness of the transparent substrate.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than

the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-96585

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月9日

(51) Int.Cl.⁶

G 1 1 B 7/135

識別記号

F I

G 1 1 B 7/135

A

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 63 頁)

(21) 出願番号 特願平9-286954

(22) 出願日 平成9年(1997)10月20日

(31) 優先権主張番号 特願平8-280750

(32) 優先日 平8(1996)10月23日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-42222

(32) 優先日 平9(1997)2月26日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-197076

(32) 優先日 平9(1997)7月23日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000001270

コニカ株式会社

東京都新宿区西新宿1丁目26番2号

(72) 発明者 荒井 則一

東京都八王子市石川町2970番地コニカ株式会社内

(72) 発明者 山崎 敬之

東京都八王子市石川町2970番地コニカ株式会社内

(72) 発明者 斉藤 真一郎

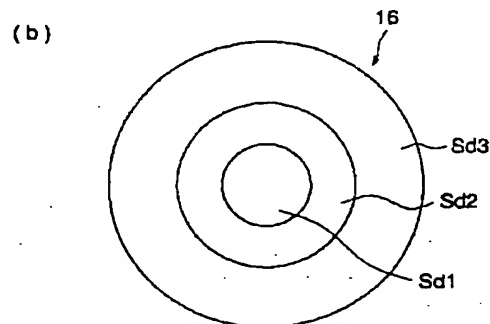
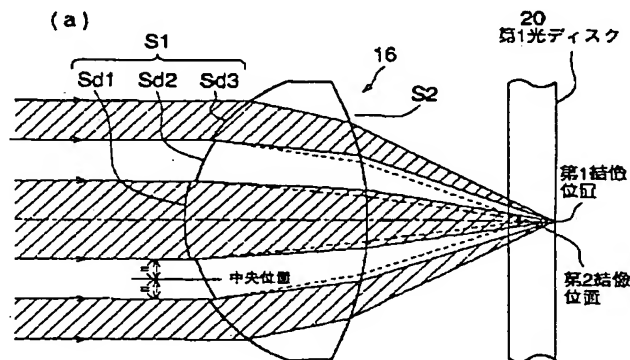
東京都八王子市石川町2970番地コニカ株式会社内

(54) 【発明の名称】 光情報記録媒体の記録／再生方法、光ピックアップ装置、集光光学系、対物レンズ及び対物レンズの設計方法

(57) 【要約】

【課題】 1つの集光光学系で複数の光ディスクを再生でき、低コストかつ複雑化しないで実現でき、さらに、高NAの光ディスクにも対応できることを目的とする。

【解決手段】 光ピックアップ装置10の対物レンズ16の光源側の屈折面S1に3つの分割面Sd1～Sd3を設け、透明基板の厚さがt1の第1光ディスク再生の際には第1分割面Sd1及び第3分割面Sd3を通過する光束を利用し、透明基板の厚さがt2 (t2≠t1) の第2光ディスクの再生の際には第1分割面Sd1及び第2分割面Sd2を通過する光束を利用する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 透明基板の厚さが t_1 の第 1 光情報記録媒体と透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$) の第 2 光情報記録媒体とに対して、光源から出射した光束を 1 つの集光光学系で透明基板を介して情報記録面に集光させ、情報記録面上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光情報記録媒体の記録／再生方法において、

光軸近傍の第 1 光束は第 1 光情報記録媒体の記録又は再生及び第 2 光情報記録媒体の記録又は再生に利用するとともに、

前記第 1 光束より外側の第 2 光束は主に第 2 光情報記録媒体の記録又は再生に利用し、

前記第 2 光束より外側の第 3 光束は主に第 1 光情報記録媒体の記録又は再生に利用することを特徴とする光情報記録媒体の記録／再生方法。

【請求項 2】 透明基板の厚さが t_1 の第 1 光情報記録媒体と透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$) の第 2 光情報記録媒体とに対して、光源から出射した光束を 1 つの集光光学系で透明基板を介して情報記録面に集光させ、情報記録面上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光ピックアップ装置において、

前記集光光学系は、

光軸近傍の第 1 光束を第 1 光情報記録媒体の記録又は再生及び第 2 光情報記録媒体の記録又は再生に利用し、

前記第 1 光束より外側の第 2 光束を主に第 2 光情報記録媒体再生に利用し、

前記第 2 光束より外側の第 3 光束を主に第 1 光情報記録媒体の記録又は再生に利用するような機能を有することを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項 3】 光源からの光束を光情報記録媒体の情報記録面上に集光させ、情報記録面上に情報を記録する又は情報記録面上に記録された情報を再生する光ピックアップ装置において、

集光光学系を構成する少なくとも 1 つの光学面を、光軸近傍の前記光学面の中央に位置する第 1 分割面と、前記第 1 分割面との間に第 2 分割面を挟んで位置する第 3 分割面とに分割された光学面で構成し、

透明基板の厚さが t_1 の第 1 光情報記録媒体の記録又は再生する際は、主に、前記第 1 分割面及び第 3 分割面を通過した光束により、ビームスポットを形成し、

透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$) の第 2 光情報記録媒体の記録又は再生する際は、主に、前記第 1 分割面及び第 2 分割面を通過した光束により、ビームスポットを形成することを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項 4】 少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数に分割された複数の分割面を有するとともに、光軸近傍の第 1 分割面と前記第 1 分割面より外側の第 3 分割面

うに測定したとき、前記第 1 結像位置と、前記第 1 分割面と第 3 分割面との間の第 2 分割面を通過する光束が結像する第 2 結像位置との間の距離の絶対値が、 $4 \mu\text{m}$ 以上 $40 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする対物レンズ。

【請求項 5】 少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数に分割された複数の分割面を有するとともに、光軸近傍の第 1 分割面と前記第 1 分割面より外側の第 3 分割面を通過する光束がほぼ同一の第 1 結像位置に結像するように測定したとき、前記第 1 分割面と第 3 分割面との間の第 2 分割面を通過する光束が結像する第 2 結像位置の方が、第 1 結像位置より対物レンズに近いことを特徴とする対物レンズ。

【請求項 6】 前記第 1 位置と前記第 2 位置との距離は、 $-40 \mu\text{m}$ 以上 $-4 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 5 に記載の対物レンズ。

【請求項 7】 少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数に分割された複数の分割面を有するとともに、所定の入射光束で所定の厚さの透明基板を介したとき、光軸を含む第 1 分割面を通過する光束のうち、光軸近傍を通過する光線が光軸と交わる位置と、光軸と直交する方向で前記第 1 分割面の端部を通過する光線が光軸と交わる位置との間に、前記第 1 分割面より外側の第 2 分割面を通過する光線が光軸と交わるとともに、前記第 2 分割面より外側の第 3 分割面を通過する光線は、光軸近傍を通過する光線が光軸と交わる位置に対して、前記第 1 分割面の端部を通過する光線が光軸と交わる位置よりも離れた位置で、光軸と交わることを特徴とする対物レンズ。

【請求項 8】 光源から出射した光束を集光光学系で光情報記録媒体の透明基板を介して光情報記録媒体の情報記録面上に光スポットとして集光させ、情報記録面上に情報を記録する又は情報記録面上に記録された情報を再生する光ピックアップ装置において、

透明基板の厚さが t_1 の第 1 光情報記録媒体の記録又は再生するために必要な前記集光光学系の光情報記録媒体側の必要開口数を NA_1 、

透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$) の第 2 光情報記録媒体の記録又は再生するために必要な前記集光光学系の光情報記録媒体側の必要開口数を NA_2 (ただし、 $NA_2 < NA_1$)、としたとき、

前記集光光学系は、開口数が NA_2 近傍の少なくとも 2 つの開口位置で、球面収差が不連続に変化する機能を有することを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項 9】 光情報記録媒体の情報記録面上に光源からの光束を光情報記録媒体の透明基板を介して光スポットとして集光させ、光情報記録媒体上に情報を記録するまたは光情報記録媒体上に記録された情報を再生するピックアップ装置の対物レンズにおいて、

光源の波長を λ 、

再生するために必要な前記対物レンズの光情報記録媒体側の必要開口数を $NA1$ 、

透明基板の厚さが $t2$ （ただし、 $t2 \neq t1$ ）の第2光情報記録媒体の記録又は再生するために必要な前記対物レンズの光情報記録媒体側の必要開口数を $NA2$ （ただし、 $NA2 < NA1$ ）、としたとき、

開口数が $NA2$ 近傍の少なくとも2つの開口位置で、球面収差が不連続に変化することを特徴とする光ピックアップ装置の対物レンズ。

【請求項10】 前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数を NAL 、最も大きい開口数を NAH としたとき、

光軸と直交する方向で開口数 NAL と開口数 NAH のほぼ中央位置でみたとき、開口数 NAL から開口数 NAH までの面の法線と光軸とのなす角度が、光軸から開口数 NAL までの面及び開口数 NAH から開口数 $NA1$ までの面から内挿される面の法線と光軸とのなす角度より、 $t2 > t1$ のとき大となり、 $t2 < t1$ のとき小となることを特徴とする請求項9に記載の光ピックアップ装置の対物レンズ。

【請求項11】 透明基板の厚さが異なる複数の光情報記録媒体に、波長 λ の光源から出射した光束を集光させる対物レンズの設計方法において、

透明基板の厚さが $t1$ の第1光情報記録媒体の記録又は再生に必要な対物レンズの光情報記録媒体側の開口数 $NA1$ の範囲内において、厚さ $t1$ の透明基板を介して第1光情報記録媒体に集光させた光束の最良波面収差が $0.05\lambda_{rms}$ 以下となるように第1非球面と共通屈折面とを設計するとともに、

透明基板の厚さが $t2$ （ただし、 $t2 \neq t1$ ）の第2光情報記録媒体に集光させた光束の球面収差の発生量が、第2の光情報記録媒体に第1非球面を介して集光させたときの球面収差の発生量より少なくなるように、前記共通屈折面に対する第2非球面を設計し、

これら第1非球面と第2非球面とを、前記第2光情報記録媒体の記録又は再生に必要な対物レンズの情報記録面側の開口数を $NA2$ （ただし、 $NA2 < NA1$ ）としたとき、前記第1非球面の前記 $NA2$ 近傍の光束が通過する部分に前記第2非球面が位置するように合成することにより、前記対物レンズの少なくとも1つの屈折面を設計することを特徴とする対物レンズの設計方法。

【請求項12】 前記第1非球面の軸上曲率半径と、前記第2非球面の軸上曲率半径とを同一で行うことを特徴とする請求項11に記載の対物レンズの設計方法。

【請求項13】 前記第1非球面は、合成する第2非球面よりも光軸側に位置する第1非球面を通過し、透明基板の厚さが $t2$ の第2光情報記録媒体に集光させた光束の最良波面収差が $0.07\lambda_{rms}$ 以下となるように設計することを特徴とする請求項11又は12に記載の対物レンズの設計方法。

【請求項14】 透明基板の厚さが異なる複数の光情報記録媒体に、光源から出射した光束を集光させる対物レンズにおいて、

前記対物レンズの少なくとも1つの屈折面を、

透明基板の厚さが $t1$ の第1光情報記録媒体の記録又は再生に必要な対物レンズの光情報記録媒体側の開口数 $NA1$ の範囲内において、厚さ $t1$ の透明基板を介して集光させた光束の最良波面収差が $0.05\lambda_{rms}$ 以下となるような第1非球面と、

10 透明基板の厚さが $t2$ （ただし、 $t2 \neq t1$ ）の第2光情報記録媒体に集光させた光束の球面収差の発生量が、第2光情報記録媒体上に前記第1非球面を介して集光させたときの球面収差の発生量より、少なくなるような第2非球面とを、前記第2光情報記録媒体の記録又は再生に必要な対物レンズの情報記録面側の開口数を $NA2$ （ただし、 $NA2 < NA1$ ）としたとき、前記第1非球面の前記 $NA2$ 近傍の光束が通過する部分に前記第2非球面が位置するように合成した屈折面で構成したことを特徴とする対物レンズ。

20 【請求項15】 透明基板の厚さが $t1$ の第1光情報記録媒体に対して、光源から出射した光束を集光光学系で透明基板を介して情報記録面に集光させ、情報記録面上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光ピックアップ装置において、

前記第1光情報記録媒体を記録又は再生するのに必要な前記集光光学系の光情報記録媒体側の必要開口数を $NA1$ 、

前記第1光情報記録媒体の透明基板の厚さ $t1$ とは異なる透明基板の厚さ $t2$ （ $t2 \neq t1$ ）を有する第2光情報記録媒体を記録又は再生するのに必要な前記集光光学系の光情報記録媒体側の必要開口数を $NA2$ （ただし、 $NA2 < NA1$ ）とすると、

前記集光光学系に、

$0.60(NA2) < NA3 < 1.3(NA2)$

（ただし、第2光情報記録媒体を記録又は再生する際の光源の波長が $740\text{nm} \sim 870\text{nm}$ である場合、この式の上限は $1.1(NA2)$ とする）

$0.01 < NA4 - NA3 < 0.12$

の条件を満たす前記集光光学系の光情報記録媒体側の開口数 $NA3$ と開口数 $NA4$ との間を通過する光束に作用して、該光束を主に第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用するための面を設けることにより、

透明基板の厚さが互いに異なる第1光情報記録媒体と第2光情報記録媒体とに対して、同じ前記集光光学系で、記録又は再生を行うことを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項16】 前記主に第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用するための面を通過した第2光束が結像する第2結像位置は、第2光束より内側の第1光束と第2光束より外側の第3光束とがほぼ同一の第1結像位置に

結像するように測定したときに、前記第1結像位置との間の距離の絶対値が、 $4\mu\text{m}$ 以上 $40\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項15に記載の光ピックアップ装置。

【請求項17】 透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体と透明基板の厚さが t_2 （ただし、 $t_2 \neq t_1$ ）の第2光情報記録媒体とに対して、光源から出射した光束を1つの集光光学系で透明基板を介して情報記録面に集光させ、情報記録面上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光情報記録媒体の記録／再生を行う光ピックアップ装置において、

第1光情報記録媒体を記録又は再生するのに必要な前記集光光学系の光情報記録媒体側の必要開口数を NA_1 、第2光情報記録媒体を記録又は再生するのに必要な前記集光光学系の光情報記録媒体側の必要開口数を NA_2 （ただし、 $NA_2 < NA_1$ ）とすると、

前記集光光学系は、所定の倍率で厚さ t_1 の透明基板を介したときに、開口数 NA_1 の範囲内において、最良波面収差を得るようにしたとき、縦軸に波面収差、横軸に開口数をとった波面収差曲線で見ると、開口数 NA_2 近傍の少なくとも2カ所で波面収差が不連続となることを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項18】 透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体と透明基板の厚さが t_2 （ただし、 $t_2 \neq t_1$ ）の第2光情報記録媒体とに対して、光源から出射した光束を1つの集光光学系で透明基板を介して情報記録面に集光させ、情報記録面上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光情報記録媒体の記録／再生を行う光ピックアップ装置の対物レンズにおいて、

前記対物レンズは、少なくとも1面が、光軸近傍の第1分割面より順に第 $2n+1$ （ただし、 n は自然数）分割面まで分割されており、

前記第1分割面を通過する第1光束は、第1光情報記録媒体の記録又は再生及び第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用するとともに、

偶数分割面を通過する光束は主に第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用し、

第1分割面を除く奇数分割面を通過する光束は主に第1光情報記録媒体の記録又は再生に利用することを特徴とする光ピックアップ装置の対物レンズ。

【請求項19】 光源から位相の揃った波長 λ の光束を集光光学系により光情報記録媒体の透明基板を介して情報記録面上に集光し、情報記録面上への情報の記録又は情報記録面上に記録された情報の再生を行う光ピックアップ装置において、

前記光源からの光束を前記集光光学系により厚さ t_1 、屈折率 n_1 の平行平板を介して集光し、平行平板側の第1開口数の範囲内において、その波面収差が最良となる状態で波面収差を測定して得られる波面収差曲線

り小さい第2開口数の範囲内に、波面収差が不連続となる部分を有し、かつ、

該不連続となっている部分の波面収差の傾きが、該不連続となっている部分の両側の曲線の端部を結ぶ直線の傾きとは異なる傾きである波面収差曲線となるように、前記集光光学系の少なくとも1つの屈折面を光軸と同心状に複数の分割面で構成したことを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項20】 光情報記録媒体上に情報を記録する又は光情報記録媒体上に記録された情報を再生するために、光情報記録媒体の情報記録面上に光源からの光束を光情報記録媒体の透明基板を介して光スポットとして集光させる光ピックアップ装置の対物レンズにおいて、波長 λ_1 の光源を用いて透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体及び透明基板の厚さが t_2 （ただし、 $t_2 \neq t_1$ ）の第2光情報記録媒体の情報記録面上に集光させることができるとともに、波長 λ_2 （ただし、 $\lambda_2 \neq \lambda_1$ ）の光源を用いた場合であっても第2光情報記録媒体の情報記録面上に集光することが可能なように、前記対物レンズの少なくとも1面を複数の分割面で構成したことを特徴とする光ピックアップ装置の対物レンズ。

【請求項21】 少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数の分割面を有するとともに、第 $2n$ 分割面（ただし、 n は1以上の整数）より光軸側の第 $(2n-1)$ 分割面を透過した光と、第 $2n$ 分割面より光軸側とは反対側の第 $(2n+1)$ 分割面を透過した光とが、所定の厚さの透明基板を介して、ほぼ同じ位相となるようにしたとき、

前記第 $(2n-1)$ 分割面を透過した光と、光軸に直交する方向において第 $2n$ 分割面のほぼ中央位置より光軸側の第 $2n$ 分割面を透過した光と、の位相差を $(\Delta nL)\pi$ (rad)とし、

前記第 $(2n+1)$ 分割面を透過した光と、前記中央位置より光軸側とは反対側の第 $2n$ 分割面を透過した光と、の位相差を $(\Delta nH)\pi$ (rad)とすると、

$(\Delta nH) \neq (\Delta nL)$

を満足することを特徴とする光ピックアップ装置の対物レンズ。

【請求項22】 透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体と透明基板の厚さが t_2 （ただし、 $t_2 \neq t_1$ ）の第2光情報記録媒体とに対して、光源から出射した光束を1つの集光光学系で透明基板を介して情報記録面に集光させ、情報記録面上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光ピックアップ装置において、

前記集光光学系の少なくとも一つの面は、光軸と同心状に複数の分割された複数の分割面を有するとともに、

第 $2n$ 分割面（ただし、 n は1以上の整数）より光軸側の第 $(2n-1)$ 分割面を透過して透明基板を介した光と、光軸に直交する方向において第 $2n$ 分割面のほぼ中

介した光と、の位相差を $(\Delta n L) \pi$ (rad) とし、第 $2n$ 分割面より光軸側とは反対側の第 $(2n+1)$ 分割面を透過して透明基板を介した光と、前記中央位置より光軸側とは反対側の第 $2n$ 分割面を透過して透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta n H) \pi$ (rad) とすると、

$$(\Delta n H) \neq (\Delta n L)$$

を満足することを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項 2 3】 透明基板の厚さ t_1 、屈折率 n_1 の第 1 光情報記録媒体と、透明基板の厚さ t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$)、屈折率 n_2 で記録密度が第 1 光情報記録媒体よりも小さい第 2 光情報記録媒体との 2 種類の光情報記録媒体の記録又は再生が可能な光ピックアップ装置の集光光学系において、

前記第 1 光情報記録媒体の記録又は再生用の光源からの光束を、厚さ t_1 、屈折率 n_1 の透明基板を介して集光して前記第 1 光情報記録媒体の記録又は再生用のビームスポットを形成したとき、光情報記録媒体側からみて、開口数 NA_L から開口数 NA_H (ただし、 $NA_H > NA_L$) の光束が前記ビームスポットの形成位置には集光せず、かつ、

前記第 2 光情報記録媒体の記録又は再生用の光源からの光束を、厚さ t_2 、屈折率 n_2 の透明基板を介して集光して前記第 2 光情報記録媒体の記録又は再生用のビームスポットを形成したとき、光情報記録媒体側からみて、光軸近傍から NA_H までの光束が前記ビームスポットの形成位置に集光し、 NA_H よりも高 NA の領域の光束が前記ビームスポットの形成位置には集光しないように、前記集光光学系の少なくとも 1 面が光軸と同心状の複数の分割面で構成されていることを特徴とする光ピックアップ装置の集光光学系。

【請求項 2 4】 透明基板の厚さ、記録密度が異なる 2 種類の光情報記録媒体の記録又は再生が可能な光ピックアップ装置の集光光学系において、

光源から出射した光束を、光軸に対して垂直方向に光軸近傍から順に、第 1 光束、第 2 光束及び第 3 光束の少なくとも 3 つの光束に分割するように、前記集光光学系の少なくとも 1 面を光軸と同心状の分割面で構成すると *

* もに、

記録密度の小さい光情報記録媒体の記録又は再生する際には、光源から出射した光束のうち光軸近傍の第 1 光束及び第 2 光束を該光情報記録媒体の情報記録面に集光させ、

記録密度の大きい光情報記録媒体の記録又は再生する際には、光源から出射した光束のうち前記第 1 光束及び前記第 3 光束を該光情報記録媒体の情報記録面に集光させることを特徴とする光ピックアップ装置の集光光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光源から出射した光束を集光光学系で情報記録面に集光させ、再生する光情報記録媒体上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光情報記録媒体の記録／再生方法、光ピックアップ装置、これらに用いられる集光光学系、対物レンズ、及び対物レンズの設計方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、短波長赤色半導体レーザ実用化に伴い、従来の光情報記録媒体（光ディスクともいう）である CD（コンパクトディスク）と同程度の大きさで大容量化させた高密度の光情報記録媒体である DVD（デジタルビデオディスク、あるいは、デジタルバーサタイルディスクともいう）の開発が進んできている。この DVD では、635 nm の短波長半導体レーザを使用したときの対物レンズの光ディスク側の開口数 NA を 0.6 としている。なお、DVD は、トラックピッチ 0.74 μm 、最短ビット長 0.4 μm であり、CD のトラックピッチ 1.6 μm 、最短ビット長 0.83 μm に対して半分以下に高密度化されている。また、上述した CD、DVD の他に、種々の規格の光ディスク、例えば、CD-R（追記型コンパクトディスク）、LD（レーザディスク）、MD（ミニディスク）、MO（光磁気ディスク）なども商品化されて普及している。表 1 に種々の光ディスクの透明基板の厚さと、必要開口数を示す。

【0003】

【表 1】

光ディスク	透明基板厚(mm)	必要開口数 NA (光源波長 λ nm)
CD, CD-R(再生のみ)	1.20	0.45($\lambda=780$)
CD-R(記録,再生)	1.20	0.50($\lambda=780$)
LD	1.25	0.50($\lambda=780$)
MD	1.20	0.45($\lambda=780$)
MO(ISO 3.5インチ 230MB)	1.20	0.55($\lambda=780$)
MO(ISO 3.5インチ 640MB)	1.20	0.55($\lambda=680$)
DVD	0.60	0.60($\lambda=635$)

【0004】なお、CD-R については光源波長 $\lambda=780$ (nm) である必要があるが、他の光ディスクにおいては、表 1 に記載した光源波長以外の波長の光源を使用することができ、この場合、使用する光源波長 λ に応

じて必要開口数 NA がかわる。例えば、CD の場合は必要開口数 $NA=\lambda$ (μm) / 1.73、DVD の場合は必要開口数 $NA=\lambda$ (μm) / 1.06 で近似される。

【0005】なお、本明細書でいう開口数（例えば、以

下NA1、NA2、NAL、NAH、NA3、NA4などとして称される)は、透明基板側から見た集光光学系の開口数のことである。

【0006】このように、市場にはサイズ、基板厚、記録密度、使用波長などが種々異なる様々な光ディスクが存在する時代となっており、様々な光ディスクに対応できる光ピックアップ装置が提案されている。

【0007】その1つとして、異なる光ディスクそれぞれに対応した集光光学系を備え、再生する光ディスクにより集光光学系を切り替える光ピックアップ装置が提案されている。しかしながら、この光ピックアップ装置では、集光光学系が複数必要となりコスト高を招くばかりでなく、集光光学系を切り替えるための駆動機構が必要となり装置が複雑化し、その切り替え精度も要求され、好ましくない。

【0008】そこで、1つの集光光学系を用いて、複数の光ディスクを再生する光ピックアップ装置が種々提案されている。

【0009】その1つとして、特開平7-302437号公報には、対物レンズの屈折面をリング状の複数領域に分割し、各々の分割面が厚さの異なる光ディスクのうち1つにビームを結像させることにより再生する光ピックアップ装置が記載されている。

【0010】他に、特開平7-57271号公報には、透明基板の厚さ t_1 の第1光ディスクのときには、集光されるビームの有する波面収差が 0.07λ 以下となるように設計した対物レンズを用い、透明基板の厚さ t_2 の第2光ディスクのときには少しデフォーカスした状態で集光スポットを形成する光ピックアップ装置が記載されている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開平7-302437号公報に記載された光ピックアップ装置においては、1つの対物レンズで同時に2つの焦点に入射光量を分割するため、レーザ出力を大きくする必要があり、コスト高を招く。また、特開平7-57271号公報に記載された光ピックアップ装置では、第2光ディスク再生時にはサイドローブによるジッターの増加が起こる。特に、第1の光ディスクで波面収差が 0.07λ 以下とした対物レンズで、第2の光ディスクを無理矢理再生しているために、第2の光ディスクの再生可能な開口数には限界がある。

【0012】そこで、本発明は、1つの集光光学系で複数の光情報記録媒体を記録又は再生でき、低コストかつ複雑化しないで実現でき、さらに、高NAの光情報記録媒体にも対応できることを目的とする。

【0013】また、本出願人が特願平8-156831号や特願平8-180586号において提案している、球面収差を調整した光ピックアップ装置を、さらに、集光特性を良好にすることを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的は、以下の構成により解決できる。

【0015】(1) 透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体と透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$) の第2光情報記録媒体とに対して、光源から出射した光束を1つの集光光学系で透明基板を介して情報記録面に集光させ、情報記録面上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光情報記録媒体の記録/再生方法において、光軸近傍の第1光束は第1光情報記録媒体の記録又は再生及び第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用するとともに、前記第1光束より外側の第2光束は主に第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用し、前記第2光束より外側の第3光束は主に第1光情報記録媒体の記録又は再生に利用することを特徴とする光情報記録媒体の記録/再生方法。

【0016】(2) 透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体と透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$) の第2光情報記録媒体とに対して、光源から出射した光束を1つの集光光学系で透明基板を介して情報記録面に集光させ、情報記録面上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光ピックアップ装置において、前記集光光学系は、光軸近傍の第1光束を第1光情報記録媒体の記録又は再生及び第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用し、前記第1光束より外側の第2光束を主に第2光情報記録媒体再生に利用し、前記第2光束より外側の第3光束を主に第1光情報記録媒体の記録又は再生に利用するような機能を有することを特徴とする光ピックアップ装置。

【0017】(3) 光源からの光束を光情報記録媒体の情報記録面上に集光させ、情報記録面上に情報を記録する又は情報記録面上に記録された情報を再生する光ピックアップ装置において、集光光学系を構成する少なくとも1つの光学面を、光軸近傍の前記光学面の中央に位置する第1分割面と、前記第1分割面との間に第2分割面を挟んで位置する第3分割面とに分割された光学面で構成し、透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体の記録又は再生する際は、主に、前記第1分割面及び第3分割面を通過した光束により、ビームスポットを形成し、透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$) の第2光情報記録媒体の記録又は再生する際は、主に、前記第1分割面及び第2分割面を通過した光束により、ビームスポットを形成することを特徴とする光ピックアップ装置。

【0018】(4) 少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数に分割された複数の分割面を有するとともに、光軸近傍の第1分割面と前記第1分割面より外側の第3分割面を通過する光束がほぼ同一の第1結像位置に結像するように測定したとき、前記第1結像位置と、前記第1分割面と第3分割面との間の第2分割面を通過する光

束が結像する第2結像位置との間の距離の絶対値が、 $4\mu\text{m}$ 以上 $40\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする対物レンズ。

【0019】(5) 少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数に分割された複数の分割面を有するとともに、光軸近傍の第1分割面と前記第1分割面より外側の第3分割面を通過する光束がほぼ同一の第1結像位置に結像するように測定したとき、前記第1分割面と第3分割面との間の第2分割面を通過する光束が結像する第2結像位置の方が、第1結像位置より対物レンズに近いことを特徴とする対物レンズ。

【0020】(6) 前記第1位置と前記第2位置との距離は、 $-40\mu\text{m}$ 以上 $-4\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする(5)に記載の対物レンズ。

【0021】(7) 少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数に分割された複数の分割面を有するとともに、所定の入射光束で所定の厚さの透明基板を介したとき、光軸を含む第1分割面を通過する光束のうち、光軸近傍を通過する光線が光軸と交わる位置と、光軸と直交する方向で前記第1分割面の端部を通過する光線が光軸と交わる位置との間に、前記第1分割面より外側の第2分割面を通過する光線が光軸と交わるとともに、前記第2分割面より外側の第3分割面を通過する光線は、光軸近傍を通過する光線が光軸と交わる位置に対して、前記第1分割面の端部を通過する光線が光軸と交わる位置よりも離れた位置で、光軸と交わることを特徴とする対物レンズ。

【0022】さらに、光軸と直交する方向で前記第2分割面のほぼ中央位置でみたとき、前記第2分割面の法線と光軸とのなす角度と、前記第1分割面と、前記第2分割面より外側の第3分割面とから内挿される面の法線と光軸とのなす角度との差が、 0.02° 以上 1° 以下の範囲であることを特徴とする(4)～(7)のいずれか1つに記載の対物レンズ(7-1)が好ましい。

【0023】さらに、光軸近傍の前記第1分割面と前記第2分割面より外側の第3分割面を通過する光束がほぼ同一の結像位置に結像するように測定したとき、前記第1分割面と前記第3分割面とを通過する光束による最良波面収差が $0.05\lambda\text{rms}$ 以下(ただし、 λ は光源の波長)であることを特徴とする(4)～(7)、(7-1)のうちいずれか1つに記載の対物レンズ(7-2)が好ましい。

【0024】さらに、所定の入射光束で所定の厚さの透明基板を介したとき、前記第1分割面を通過する光束による最良波面収差が $0.07\lambda\text{rms}$ 以下(ただし、 λ は光源の波長)であることを特徴とする(4)～(7)、(7-1)、(7-2)のうちいずれか1つに記載の対物レンズ(7-3)が好ましい。

【0025】(8) 光源から出射した光束を集光光学系で光情報記録媒体の透明基板を介して光情報記録媒体

の情報記録面上に光スポットとして集光させ、情報記録面上に情報を記録する又は情報記録面上に記録された情報を再生する光ピックアップ装置において、透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体の記録又は再生するために必要な前記集光光学系の光情報記録媒体側の必要開口数を NA_1 、透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$)の第2光情報記録媒体の記録又は再生するために必要な前記集光光学系の光情報記録媒体側の必要開口数を NA_2 (ただし、 $NA_2 < NA_1$)、としたとき、前記集光光学系は、開口数が NA_2 近傍の少なくとも2つの開口位置で、球面収差が不連続に変化する機能を有することを特徴とする光ピックアップ装置。

【0026】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数を NA_L 、最も大きい開口数を NA_H としたとき、 $t_2 > t_1$ で、小さい開口数から大きい開口数の方向へとみたとき、前記集光光学系は、開口数 NA_L では、球面収差が負の方向に不連続に変化し、開口数 NA_H では、球面収差が正の方向に不連続に変化する機能を有することを特徴とする(8)に記載の光ピックアップ装置(8-1)が好ましい。

【0027】さらに、 t_2 (ただし、 $t_2 > t_1$)の厚さの透明基板を介した際に、前記集光光学系は、開口数 NA_L から開口数 NA_H の間の球面収差が正となる機能を有することを特徴とする(8-1)に記載の光ピックアップ装置(8-2)が好ましい。

【0028】さらに、 $t_1 = 0.6\text{mm}$ 、 $t_2 = 1.2\text{mm}$ 、 $610\text{nm} < \lambda < 670\text{nm}$ 、 $0.32 < NA_2 < 0.41$ のとき、前記集光光学系は、 $0.60(NA_2) < NA_L < 1.3(NA_2)$ であることを特徴とする(8-1)又は(8-2)に記載の光ピックアップ装置(8-3)が好ましい。

【0029】さらに、 $t_1 = 0.6\text{mm}$ 、 $t_2 = 1.2\text{mm}$ 、 $610\text{nm} < \lambda < 670\text{nm}$ 、 $0.32 < NA_2 < 0.41$ のとき、前記集光光学系は、 $0.01 < NA_H - NA_L < 0.12$ であることを特徴とする(8-1)～(8-3)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置(8-4)が好ましい。

【0030】さらに、 t_2 の厚さの透明基板を介した際に、前記集光光学系は、開口数 NA_L から開口数 NA_H の間の球面収差が、 $-2\lambda / (NA_2)^2$ 以上、 $5\lambda / (NA_2)^2$ 以下であることを特徴とする(8-3)又は(8-4)に記載の光ピックアップ装置(8-5)が好ましい。

【0031】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数を NA_L 、最も大きい開口数を NA_H としたとき、前記集光光学系は、 t_1 の厚さの透明基板を介した際に、前記集光光学系の光情報記録媒体側の開口数が NA_1 のなかで、開口数 NA_L から開口数 NA_H の間を除いた最良波面収差が $0.05\lambda\text{rms}$ 以下(ただし、 λ は光源の波長)であることを特徴とする

(8)、(8-1)～(8-5)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置(8-6)が好ましい。

【0032】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとしたとき、前記集光光学系は、 t_2 の厚さの透明基板を介した際に、開口数NALまでの最良波面収差が $0.07\lambda_{rms}$ 以下(ただし、 λ は光源の波長)であることを特徴とする(8)、(8-1)～(8-6)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置(8-7)が好ましい。

【0033】さらに、前記光源は、第1光情報記録媒体の記録又は再生するための波長 λ_1 の第1光源と、第2光情報記録媒体の記録又は再生するための波長 λ_2 (ただし、 $\lambda_2 > \lambda_1$)の第2光源を有することを特徴とする(8)、(8-1)、(8-2)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置(8-8)が好ましい。

【0034】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとし、 $t_1 = 0.6\text{mm}$ 、 $t_2 = 1.2\text{mm}$ 、 $610\text{nm} < \lambda_1 < 670\text{nm}$ 、 $740\text{nm} < \lambda_2 < 870\text{nm}$ 、 $0.40 < NA_2 < 0.51$ のとき、前記集光光学系は、 $0.60(NA_2) < NAL < 1.1(NA_2)$ であることを特徴とする(8-8)に記載の光ピックアップ装置(8-9)が好ましい。

【0035】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとし、 $t_1 = 0.6\text{mm}$ 、 $t_2 = 1.2\text{mm}$ 、 $610\text{nm} < \lambda_1 < 670\text{nm}$ 、 $740\text{nm} < \lambda_2 < 870\text{nm}$ 、 $0.40 < NA_2 < 0.51$ のとき、前記集光光学系は、 $0.01 < NAH - NAL < 0.12$ であることを特徴とする(8-8)又は(8-9)に記載の光ピックアップ装置(8-10)が好ましい。

【0036】さらに、 t_2 の厚さの透明基板を介した際に、前記集光光学系は、開口数NALから開口数NAHの間の球面収差が、 $-2(\lambda_2) / (NA_2)^2$ 以上、 $5(\lambda_2) / (NA_2)^2$ 以下であることを特徴とする(8-9)又は(8-10)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置(8-11)が好ましい。

【0037】さらに、前記集光光学系である正の屈折力を有する対物レンズの前記第1光源に対する近軸結像倍率と、前記第2光源に対する結像倍率とが、ほぼ0(零)であることを特徴とする(8-8)～(8-11)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置(8-12)が好ましい。

【0038】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとしたとき、前記集光光学系は、 t_1 の厚さの透明基板を介した際に、前記集光光学系の光情報記録媒体側の開口数がNA1のなかで、開口数NALから開口数NAHの間を除いた最良波面収差が $0.05\lambda_{rms}$

以下(ただし、 λ_1 は第1光源の波長)である機能を有することを特徴とする(8-8)～(8-12)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置(8-13)が好ましい。

【0039】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとしたとき、前記集光光学系は、 t_2 の厚さの透明基板を介した際に、開口数NALまでの最良波面収差が $0.07\lambda_{2rms}$ 以下(ただし、 λ_2 は第2光源の波長)であることを特徴とする(8-8)～(8-13)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置(8-14)が好ましい。

【0040】さらに、前記集光光学系は、正の屈折力の対物レンズを有することを特徴とする(8)、(8-1)～(8-14)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置(8-15)が好ましい。

【0041】(9) 光情報記録媒体の情報記録面上に光源からの光束を光情報記録媒体の透明基板を介して光スポットとして集光させ、光情報記録媒体上に情報を記録するまたは光情報記録媒体上に記録された情報を再生するピックアップ装置の対物レンズにおいて、光源の波長を λ 、透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体の記録又は再生するために必要な前記対物レンズの光情報記録媒体側の必要開口数をNA1、透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$)の第2光情報記録媒体の記録又は再生するために必要な前記対物レンズの光情報記録媒体側の必要開口数をNA2(ただし、 $NA_2 < NA_1$)、としたとき、開口数がNA2近傍の少なくとも2つの開口位置で、球面収差が不連続に変化することを特徴とする光ピックアップ装置の対物レンズ。

【0042】(10) 前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとしたとき、光軸と直交する方向で開口数NALと開口数NAHのほぼ中央位置でみたとき、開口数NALから開口数NAHまでの面の法線と光軸とのなす角度が、光軸から開口数NALまでの面及び開口数NAHから開口数NA1までの面から内挿される面の法線と光軸とのなす角度より、 $t_2 > t_1$ のとき大となり、 $t_2 < t_1$ のとき小となることを特徴とする(9)に記載の光ピックアップ装置の対物レンズ。

【0043】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとしたとき、光軸と直交する方向で開口数NALと開口数NAHのほぼ中央位置でみたとき、開口数NALから開口数NAHまでの面の法線と光軸とのなす角度と、光軸から開口数NALまでの面及び開口数NAHから開口数NA1までの面から内挿される面の法線と光軸とのなす角度との差が、 0.02° 以上 1° 以下の範囲であることを特徴とする(9)又は(10)に記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-1)が好まし

い。

【0044】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとし、 $t_2 > t_1$ で、小さい開口数から大きい開口数の方向へとみたとき、開口数NALでは、球面収差が負の方向に不連続に変化し、開口数NAHでは、球面収差が正の方向に不連続に変化することを特徴とする(9)、(10)、(10-1)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-2)が好ましい。

【0045】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとしたとき、 t_2 (ただし、 $t_2 > t_1$)の厚さの透明基板を介した際に、開口数NALから開口数NAHの間の球面収差が正であることを特徴とする(9)、(10)(10-1)、(10-2)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-3)が好ましい。

【0046】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとし、 $t_1 = 0.6 \text{ mm}$ 、 $t_2 = 1.2 \text{ mm}$ 、 $610 \text{ nm} < \lambda < 670 \text{ nm}$ 、 $0.32 < NA_2 < 0.41$ のとき、 $0.60 (NA_2) < NAL < 1.3 (NA_2)$ であることを特徴とする(9)、(10)、(10-1) ~ (10-3)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-4)が好ましい。

【0047】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとし、 $t_1 = 0.6 \text{ mm}$ 、 $t_2 = 1.2 \text{ mm}$ 、 $610 \text{ nm} < \lambda < 670 \text{ nm}$ 、 $0.32 < NA_2 < 0.41$ のとき、 $0.01 < NAH - NAL < 0.12$ であることを特徴とする(9)、(10)、(10-1) ~ (10-4)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-5)が好ましい。

【0048】さらに、 t_2 の厚さの透明基板を介した際に、開口数NALから開口数NAHの間の球面収差が、 $-2\lambda / (NA_2)^2$ 以上、 $5\lambda / (NA_2)^2$ 以下であることを特徴とする(10-4)又は(10-5)に記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-6)が好ましい。

【0049】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとしたとき、 t_1 の厚さの透明基板を介した際に、前記対物レンズの光情報記録媒体側の開口数がNA1のなかで、開口数NALから開口数NAHの間を除いた最良波面収差が $0.05 \lambda \text{ rms}$ 以下 (ただし、 λ は光源の波長) であることを特徴とする(9)、(10)、(10-1) ~ (10-6)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-7)が好ましい。

【0050】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとしたとき、 t_2 の厚さの透明基板を介した際に、開口数NALまでの最良波面収差が $0.07 \lambda \text{ rms}$ 以下 (ただし、 λ は光源の波長) であることを特徴とする(9)、(10)、(10-1) ~ (10-7)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-8)が好ましい。

10 【0051】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとし、第1光情報記録媒体の記録又は再生するための光源の波長を λ_1 、第2光情報記録媒体の記録又は再生するための光源の波長を λ_2 (ただし、 $\lambda_2 > \lambda_1$)とし、 $t_1 = 0.6 \text{ mm}$ 、 $t_2 = 1.2 \text{ mm}$ 、 $610 \text{ nm} < \lambda_1 < 670 \text{ nm}$ 、 $740 \text{ nm} < \lambda_2 < 870 \text{ nm}$ 、 $0.40 < NA_2 < 0.51$ のとき、 $0.60 (NA_2) < NAL < 1.1 (NA_2)$ であることを特徴とする(9)、(10)、(10-1) ~ (10-3)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-9)が好ましい。

20 【0052】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとし、第1光情報記録媒体の記録又は再生するための光源の波長を λ_1 、第2光情報記録媒体の記録又は再生するための光源の波長を λ_2 (ただし、 $\lambda_2 > \lambda_1$)とし、 $t_1 = 0.6 \text{ mm}$ 、 $t_2 = 1.2 \text{ mm}$ 、 $610 \text{ nm} < \lambda_1 < 670 \text{ nm}$ 、 $740 \text{ nm} < \lambda_2 < 870 \text{ nm}$ 、 $0.40 < NA_2 < 0.51$ のとき、 $0.01 < NAH - NAL < 0.12$ であることを特徴とする(9)、(10)、(10-1) ~ (10-3)、(10-9)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-10)が好ましい。

【0053】さらに、 t_2 の厚さの透明基板を介した際に、前記集光光学系は、開口数NALから開口数NAHの間の球面収差が、 $-2(\lambda_2) / (NA_2)^2$ 以上、 $5(\lambda_2) / (NA_2)^2$ 以下となる機能を有することを特徴とする(10-9)又は(10-10)に記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-11)が好ましい。

40 【0054】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数をNAL、最も大きい開口数をNAHとしたとき、第1光情報記録媒体の記録又は再生するための光源の波長を λ_1 、第2光情報記録媒体の記録又は再生するための光源の波長を λ_2 (ただし、 $\lambda_2 > \lambda_1$)とし、 t_1 の厚さの透明基板を介した際に、前記対物レンズの光情報記録媒体側の開口数がNA1のなかで、開口数NALから開口数NAHの間を除いた最良波面収差が $0.05 \lambda \text{ rms}$ 以下 (ただし、 λ は光源の波長) であることを特徴とする(9)、
50 (10)、(10-1) ~ (10-3)、(10-9)

～(10-11)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-12)が好ましい。

【0055】さらに、前記少なくとも2つの開口位置のうち、最も小さい開口数を NA_L 、最も大きい開口数を NA_H としたとき、第1光情報記録媒体の記録又は再生するための光源の波長を λ_1 、第2光情報記録媒体の記録又は再生するための光源の波長を λ_2 （ただし、 $\lambda_2 > \lambda_1$ ）とし、 t_2 の厚さの透明基板を介した際に、開口数 NA_L までの最良波面収差が $0.07\lambda_{rms}$ 以下（ただし、 λ は光源の波長）であることを特徴とする (9)、(10)、(10-1)～(10-3)、(10-9)～(10-12)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(10-13)が好ましい。

【0056】(11) 透明基板の厚さが異なる複数の光情報記録媒体に、波長 λ の光源から出射した光束を集光させる対物レンズの設計方法において、透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体の記録又は再生に必要な対物レンズの光情報記録媒体側の開口数 NA_1 の範囲内において、厚さ t_1 の透明基板を介して第1光情報記録媒体に集光させた光束の最良波面収差が $0.05\lambda_{rms}$ 以下となるように第1非球面と共通屈折面とを設計するとともに、透明基板の厚さが t_2 （ただし、 $t_2 \neq t_1$ ）の第2光情報記録媒体に集光させた光束の球面収差の発生量が、第2の光情報記録媒体に第1非球面を介して集光させたときの球面収差の発生量より少なくなるように、前記共通屈折面に対する第2非球面を設計し、これら第1非球面と第2非球面とを、前記第2光情報記録媒体の記録又は再生に必要な対物レンズの情報記録面側の開口数を NA_2 （ただし、 $NA_2 < NA_1$ ）としたとき、前記第1非球面の前記 NA_2 近傍の光束が通過する部分に前記第2非球面が位置するように合成することにより、前記対物レンズの少なくとも1つの屈折面を設計することを特徴とする対物レンズの設計方法。

【0057】(12) 前記第1非球面の軸上曲率半径と、前記第2非球面の軸上曲率半径とを同一で行うことを特徴とする(11)に記載の対物レンズの設計方法。

【0058】(13) 前記第1非球面は、合成する第2非球面よりも光軸側に位置する第1非球面を通過し、透明基板の厚さが t_2 の第2光情報記録媒体に集光させた光束の最良波面収差が $0.07\lambda_{rms}$ 以下となるように設計することを特徴とする(11)又は(12)に記載の対物レンズの設計方法。

【0059】(14) 透明基板の厚さが異なる複数の光情報記録媒体に、光源から出射した光束を集光させる対物レンズにおいて、前記対物レンズの少なくとも1つの屈折面を、透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体の記録又は再生に必要な対物レンズの光情報記録媒体側の開口数 NA_1 の範囲内において、厚さ t_1 の透明基板を介して集光させた光束の最良波面収差が 0.05λ

rms 以下となるような第1非球面と、透明基板の厚さが t_2 （ただし、 $t_2 \neq t_1$ ）の第2光情報記録媒体に集光させた光束の球面収差の発生量が、第2光情報記録媒体上に前記第1非球面を介して集光させたときの球面収差の発生量より、少なくなるような第2非球面とを、前記第2光情報記録媒体の記録又は再生に必要な対物レンズの情報記録面側の開口数を NA_2 （ただし、 $NA_2 < NA_1$ ）としたとき、前記第1非球面の前記 NA_2 近傍の光束が通過する部分に前記第2非球面が位置するように合成した屈折面で構成したことを特徴とする対物レンズ。

【0060】(15) 透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体に対して、光源から出射した光束を集光光学系で透明基板を介して情報記録面に集光させ、情報記録面上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光ピックアップ装置において、前記第1光情報記録媒体を記録又は再生するのに必要な前記集光光学系の光情報記録媒体側の必要開口数を NA_1 、前記第1光情報記録媒体の透明基板の厚さ t_1 とは異なる透明基板の厚さ t_2 （ $t_2 \neq t_1$ ）を有する第2光情報記録媒体を記録又は再生するのに必要な前記集光光学系の光情報記録媒体側の必要開口数を NA_2 （ただし、 $NA_2 < NA_1$ ）とすると、前記集光光学系に、 $0.60(NA_2) < NA_3 < 1.3(NA_2)$ （ただし、第2光情報記録媒体を記録又は再生する際の光源の波長が $740nm \sim 870nm$ である場合、この式の上限は $1.1(NA_2)$ とする）、 $0.01 < NA_4 - NA_3 < 0.12$ の条件を満たす前記集光光学系の光情報記録媒体側の開口数 NA_3 と開口数 NA_4 との間を通過する光束に作用して、該光束を主に第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用するための面を設けることにより、透明基板の厚さが互いに異なる第1光情報記録媒体と第2光情報記録媒体とに対して、同じ前記集光光学系で、記録又は再生を行うことを特徴とする光ピックアップ装置。

【0061】(16) 前記主に第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用するための面を通過した第2光束が結像する第2結像位置は、第2光束より内側の第1光束と第2光束より外側の第3光束とがほぼ同一の第1結像位置に結像するように測定したときに、前記第1結像位置との間の距離の絶対値が、 $4\mu m$ 以上 $40\mu m$ 以下であることを特徴とする(15)に記載の光ピックアップ装置。

【0062】さらに、前記主に第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用するための面を、複数有することを特徴とする(15)又は(16)に記載の光ピックアップ装置(16-1)が好ましい。

【0063】さらに、第2光情報記録媒体を記録又は再生する際、前記主に第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用するための面よりも内側の面を通過した光束による最良波面収差が $0.07\lambda_{rms}$ 以下（ただし、 λ は

光源の波長)であることを特徴とする(15)、(16)、(16-1)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置(16-2)が好ましい。

【0064】(17) 透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体と透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$)の第2光情報記録媒体とに対して、光源から出射した光束を1つの集光光学系で透明基板を介して情報記録面に集光させ、情報記録面上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光情報記録媒体の記録/再生を行う光ピックアップ装置において、第1光情報記録媒体を記録又は再生するのに必要な前記集光光学系の光情報記録媒体側の必要開口数を NA_1 、第2光情報記録媒体を記録又は再生するのに必要な前記集光光学系の光情報記録媒体側の必要開口数を NA_2 (ただし、 $NA_2 < NA_1$)とすると、前記集光光学系は、所定の倍率で厚さ t_1 の透明基板を介したときに、開口数 NA_1 の範囲内において、最良波面収差を得るようにしたとき、縦軸に波面収差、横軸に開口数をとった波面収差曲線で見ると、開口数 NA_2 近傍の少なくとも2カ所で波面収差が不連続となることを特徴とする光ピックアップ装置。

【0065】さらに、前記開口数 NA_2 近傍とは、 $0.60(NA_2) < NA_3 < 1.3$ (ただし、第2光情報記録媒体を記録又は再生する際の光源の波長が $740\text{ nm} \sim 870\text{ nm}$ である場合、この式の上限は $1.1(NA_2)$ とする)(NA_2)、 $0.01 < NA_4 - NA_3 < 0.12$ を満足する2つの開口数 NA_3 と NA_4 との間であることを特徴とする(17)に記載の光ピックアップ装置(17-1)が好ましい。

【0066】さらに、前記集光光学系は、第2光情報記録媒体を記録又は再生する際、波面収差が不連続となる2カ所のうち最も光軸側の開口数よりも光軸側を通過した光束による最良波面収差が $0.07\lambda\text{ rms}$ 以下(ただし、 λ は光源の波長)であることを特徴とする(17)又は(17-1)に記載の光ピックアップ装置(17-2)が好ましい。

【0067】(18) 透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体と透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$)の第2光情報記録媒体とに対して、光源から出射した光束を1つの集光光学系で透明基板を介して情報記録面に集光させ、情報記録面上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光情報記録媒体の記録/再生を行う光ピックアップ装置の対物レンズにおいて、前記対物レンズは、少なくとも1面が、光軸近傍の第1分割面より順に第 $2n+1$ (ただし、 n は自然数)分割面まで分割されており、前記第1分割面を通過する第1光束は、第1光情報記録媒体の記録又は再生及び第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用するとともに、偶数分割面を通過する光束は主に第2光情報記録媒体の記録又は再生に利用し、第1分割面を除く奇数分割面を通過する光束は主に第1光情報記録媒体の記録又は再生に利用す

ることを特徴とする光ピックアップ装置の対物レンズ。

【0068】さらに、第2分割面の光軸側における光情報記録媒体側の開口数を NA_L とし、第 $2n$ 分割面(ただし、 $n \geq 2$ の整数)の光軸から離れた側における光情報記録媒体側の開口数を NA_H とすると、 $0.8(NA_2) < NA_L < 1.3(NA_2)$ (ただし、第2光情報記録媒体を記録又は再生する際の光源の波長が $740\text{ nm} \sim 870\text{ nm}$ である場合、この式の上限は $1.1(NA_2)$ とする)、 $0.01 < NA_H - NA_L < 0.12$ を満足することを特徴とする(18)に記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(18-1)が好ましい。

【0069】さらに、 t_1 の厚さの透明基板を介した際に、奇数分割面を通過する光束による最良波面収差が $0.05\lambda\text{ rms}$ 以下(ただし、 λ は光源の波長)である機能を有することを特徴とする(18)又は(18-1)に記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(18-2)が好ましい。

【0070】さらに、 t_2 の厚さの透明基板を介した際に、第1分割面を通過する光束による最良波面収差が $0.07\lambda\text{ rms}$ 以下(ただし、 λ は光源の波長)であることを特徴とする(18)、(18-1)、(18-2)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置の対物レンズ(18-3)が好ましい。

【0071】(19) 光源から位相の揃った波長 λ の光束を集光光学系により光情報記録媒体の透明基板を介して情報記録面上に集光し、情報記録面上への情報の記録又は情報記録面上に記録された情報の再生を行う光ピックアップ装置において、前記光源からの光束を前記集光光学系により厚さ t_1 、屈折率 n_1 の平行平板を介して集光し、平行平板側の第1開口数の範囲内において、その波面収差が最良となる状態で波面収差を測定して得られる波面収差曲線が、前記集光光学系の前記平行平板側の第1開口数より小さい第2開口数の範囲内に、波面収差が不連続となる部分を有し、かつ、該不連続となっている部分の波面収差の傾きが、該不連続となっている部分の両側の曲線の端部を結ぶ直線の傾きとは異なる傾きである波面収差曲線となるように、前記集光光学系の少なくとも1つの屈折面を光軸と同心状に複数の分割面で構成したことを特徴とする光ピックアップ装置。

【0072】さらに、前記所定の開口数の範囲内に、波面収差が不連続となる部分が複数箇所あることを特徴とする(19)に記載の光ピックアップ装置(19-1)が好ましい。

【0073】さらに、前記所定の開口数は、 $0.60(NA_2) < NA_3 < 1.3(NA_2)$ (ただし、第2光情報記録媒体を記録又は再生する際の光源の波長が $740\text{ nm} \sim 870\text{ nm}$ である場合、この式の上限は $1.1(NA_2)$ とする)、 $0.01 < NA_4 - NA_3 < 0.12$ を満足する NA_3 と NA_4 との間にあることを

特徴とする(19)又は(19-1)に記載の光ピックアップ装置(19-2)が好ましい。

【0074】さらに、前記 t_1 は0.6mmであり、前記 n_1 は1.58であることを特徴とする(19)、

(19-1)、(19-2)のいずれか1つに記載の光ピックアップ装置(19-3)が好ましい。

【0075】(20) 光情報記録媒体上に情報を記録する又は光情報記録媒体上に記録された情報を再生するために、光情報記録媒体の情報記録面上に光源からの光束を光情報記録媒体の透明基板を介して光スポットとして集光させる光ピックアップ装置の対物レンズにおいて、波長 λ_1 の光源を用いて透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体及び透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$)の第2光情報記録媒体の情報記録面上に集光させることができるとともに、波長 λ_2 (ただし、 $\lambda_2 \neq \lambda_1$)の光源を用いた場合であっても第2光情報記録媒体の情報記録面上に集光することが可能なように、前記対物レンズの少なくとも1面を複数の分割面で構成したことを特徴とする光ピックアップ装置の対物レンズ。

【0076】(21) 少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数の分割された複数の分割面を有するとともに、第2 n 分割面(ただし、 n は1以上の整数)より光軸側の第(2 $n-1$)分割面を透過した光と、第2 n 分割面より光軸側とは反対側の第(2 $n+1$)分割面を透過した光とが、所定の厚さの透明基板を介して、ほぼ同じ位相となるようにしたとき、前記第(2 $n-1$)分割面を透過した光と、光軸に直交する方向において第2 n 分割面のほぼ中央位置より光軸側の第2 n 分割面を透過した光と、の位相差を $(\Delta n L) \pi$ (rad)とし、前記第(2 $n+1$)分割面を透過した光と、前記中央位置より光軸側とは反対側の第2 n 分割面を透過した光と、の位相差を $(\Delta n H) \pi$ (rad)とすると、 $(\Delta n H) \neq (\Delta n L)$ を満足することを特徴とする光ピックアップ装置の対物レンズ。

【0077】(22) 透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体と透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$)の第2光情報記録媒体とに対して、光源から出射した光束を1つの集光光学系で透明基板を介して情報記録面に集光させ、情報記録面上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光ピックアップ装置において、前記集光光学系の少なくとも一つの面は、光軸と同心状に複数の分割された複数の分割面を有するとともに、第2 n 分割面(ただし、 n は1以上の整数)より光軸側の第(2 $n-1$)分割面を透過して透明基板を介した光と、光軸に直交する方向において第2 n 分割面のほぼ中央位置より光軸側の第2 n 分割面を透過して透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta n L) \pi$ (rad)とし、第2 n 分割面より光軸側とは反対側の第(2 $n+1$)分

り光軸側とは反対側の第2 n 分割面を透過して透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta n H) \pi$ (rad)とすると、 $(\Delta n H) \neq (\Delta n L)$ を満足することを特徴とする光ピックアップ装置。

【0078】(23) 透明基板の厚さ t_1 、屈折率 n_1 の第1光情報記録媒体と、透明基板の厚さ t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$)、屈折率 n_2 で記録密度が第1光情報記録媒体よりも小さい第2光情報記録媒体との2種類の光情報記録媒体の記録又は再生が可能な光ピックアップ装置の集光光学系において、前記第1光情報記録媒体の記録又は再生用の光源からの光束を、厚さ t_1 、屈折率 n_1 の透明基板を介して集光して前記第1光情報記録媒体の記録又は再生用のビームスポットを形成したとき、光情報記録媒体側からみて、開口数 NA_L から開口数 NA_H (ただし、 $NA_H > NA_L$)の光束が前記ビームスポットの形成位置には集光せず、かつ、前記第2光情報記録媒体の記録又は再生用の光源からの光束を、厚さ t_2 、屈折率 n_2 の透明基板を介して集光して前記第2光情報記録媒体の記録又は再生用のビームスポットを形成したとき、光情報記録媒体側からみて、光軸近傍から NA_H までの光束が前記ビームスポットの形成位置に集光し、 NA_H よりも高 NA の領域の光束が前記ビームスポットの形成位置には集光しないように、前記集光光学系の少なくとも1面が光軸と同心状の複数の分割面で構成されていることを特徴とする光ピックアップ装置の集光光学系。

【0079】(24) 透明基板の厚さ、記録密度が異なる2種類の光情報記録媒体の記録又は再生が可能な光ピックアップ装置の集光光学系において、光源から出射した光束を、光軸に対して垂直方向に光軸近傍から順に、第1光束、第2光束及び第3光束の少なくとも3つの光束に分割するように、前記集光光学系の少なくとも1面を光軸と同心状の分割面で構成するとともに、記録密度の小さい光情報記録媒体の記録又は再生する際には、光源から出射した光束のうち光軸近傍の第1光束及び第2光束を該光情報記録媒体の情報記録面に集光させ、記録密度の大きい光情報記録媒体の記録又は再生する際には、光源から出射した光束のうち前記第1光束及び前記第3光束を該光情報記録媒体の情報記録面に集光させることを特徴とする光ピックアップ装置の集光光学系。

【0080】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明を説明する。なお、同一の構成要素を用いる場合には同じ番号を付している。また、本明細書においては、透明基板の厚さ t_1 の第1光情報記録媒体(第1光ディスクともいう)の記録又は再生に必要な集光光学系(対物レンズ)の光情報記録媒体側の開口数 NA_1 が、透明基板の厚さ t_2 の第2光情報記録媒体(第2光ディスクともい

の光情報記録媒体側の開口数 NA_2 よりも大きい($NA_2 < NA_1$)ものとして説明する。

【0081】(第1の実施の形態)まず、第1の実施の形態を説明するに先立ち、光ピックアップ装置について説明する。図1は光ピックアップ装置の概略構成図である。

【0082】光ピックアップ装置10は、光源である半導体レーザ11(波長 $\lambda = 610 \sim 670 \text{ nm}$)、偏光ビームスプリッタ12、コリメータレンズ13、1/4波長板14、絞り17、対物レンズ16、非点収差を発生する非点収差素子であるシリンドリカルレンズ18、光検出器30、フォーカス制御及びトラッキング制御のための2次元アクチュエータ15などからなる。

【0083】半導体レーザ11から出射した光束は、偏光ビームスプリッタ12、コリメータレンズ13、1/4波長板14を透過して円偏光の平行光束となる。この光束は、絞り17によって絞られ、対物レンズ16により光ディスク20の透明基板21を介して情報記録面22上に集光される。そして、情報記録面22で情報ビットにより変調されて反射した光束は、再び対物レンズ16、1/4波長板14、コリメータレンズ13を透過して偏光ビームスプリッタ12に入射し、ここで反射してシリンドリカルレンズ18により非点収差が与えられ光検出器30上へ入射し、光検出器30から出力される信号を用いて光ディスク20に記録された情報の読み取り(再生)信号が得られる。また、光検出器30上でのスポットの形状変化による光量分布変化を検出して、合焦検出やトラック検出を行う。すなわち、光検出器30からの出力を用いて、ここでは図示しない演算処理回路によってフォーカスエラー信号及びトラッキングエラー信号が生成される。このフォーカスエラー信号に基づいて2次元アクチュエータ(フォーカス制御用)15が半導体レーザ11からの光を光ディスク20の情報記録面22上に結像するように対物レンズ16を光軸方向に移動させ、トラッキングエラー信号に基づいて2次元アクチュエータ(トラッキング制御用)15が半導体レーザ11からの光を所定のトラックに結像するように対物レンズ16を光軸と垂直な方向に移動させる。

【0084】このような光ピックアップ装置10において、透明基板の厚さが t_1 の第1光ディスク、例えばDVD($t_1 = 0.6 \text{ mm}$)を再生する際には、ビームスポットが最小錯乱円を形成するよう(ベストフォーカス)に対物レンズ16を、2次元アクチュエータ15により駆動する。この対物レンズ16を用いて、透明基板の厚さが t_1 と異なる t_2 (好ましくは $t_2 > t_1$)で記録密度が第1光ディスクよりも低い第2光ディスク、例えばCD($t_2 = 1.2 \text{ mm}$)を再生する際には、透明基板の厚さが異なる(好ましくは大きくなる)ことで球面収差が発生し、ビームスポットが最小錯乱円となる位置(近軸焦点位置より後方の位置)では、スポットサ

イズが大きく第2光ディスクのビット(情報)を読む(再生する)ことはできない。しかしながら、この最小錯乱円となる位置より対物レンズ16に近い前側位置(前ピン)では、スポット全体の大きさは最小錯乱円よりも大きい、中央部に光量が集中した核と核の周囲に不要光であるフレアとが形成される。この核を第2光ディスクのビット(情報)を再生する(読む)ために利用し、第2光ディスク再生時には、対物レンズ16をデフォーカス(前ピン)状態になるように2次元アクチュエータ15を駆動する。

【0085】次に、上述したような透明基板の厚さが異なる第1光ディスクと第2光ディスクを1つの集光光学系で再生するために、光ピックアップ装置10の集光光学系の1つである対物レンズ16に本発明を適用した第1の実施の形態を説明する。図2は、対物レンズ16を模式的に示した断面図(a)及び光源側から見た正面図(b)である。なお、一点鎖線は光軸を示している。なお、本実施の形態では、第1光ディスクの透明基板の厚さ t_1 は、第2光ディスクの透明基板の厚さ t_2 より薄く、第1光ディスクの方が第2光ディスクよりも高密度で情報が記録されている。

【0086】本実施の形態において、対物レンズ16は、光源側の屈折面S1及び光ディスク20側の屈折面S2は共に非球面形状を呈した正の屈折力を有した凸レンズである。また、対物レンズ16の光源側の屈折面S1は、光軸と同心状に複数(本実施の形態では3つ)の第1分割面Sd1～第3分割面Sd3から構成している。分割面Sd1～Sd3の境界は段差を設けて、それぞれの分割面Sd1～Sd3を形成している。この対物レンズ16において、光軸を含む第1分割面Sd1を通過する光束(第1光束)は第1光ディスクに記録された情報の再生及び第2光ディスクに記録された情報の再生に利用し、第1分割面Sd1より外側の第2分割面Sd2を通過する光束(第2光束)は主に第2光ディスクに記録された情報の再生に利用し、第2分割面Sd2より外側の第3分割面Sd3を通過する光束(第3光束)は主に第1光ディスクに記録された情報の再生に利用するような形状となっている。

【0087】ここで、「主に」という文言の意味は、第2分割面Sd2を通過する光束の場合、第3分割面Sd3を通過する光束を遮光しない状態においてビームスポットの中心強度が最大となる位置での核部分のエネルギーに対して、第3分割面Sd3を通過する光束を遮光した状態においてビームスポットの中心強度が最大となる位置での核部分のエネルギー比率(「遮光状態核エネルギー」/「遮光しない核エネルギー」)が、60%～100%の範囲に入ることを指している。また、第3分割面Sd3を通過する光束の場合も同様に、第2分割面Sd2を遮光しない状態に対する遮光した状態の核部分のエネルギー比率(「遮光状態核エネルギー」/「遮光し

25

ない核エネルギー」)が、60%~100%の範囲に入
ることを指している。なお、このエネルギー比率を簡易
的に測定するには、各々の場合において、ビームスポッ
トの中心強度が最大となる位置でのピーク強度 I_p と、
ビーム径 D_p (中心強度に対して強度が e^{-2} となる位置
で定める)を測定し、核部分のビームの形状はほぼ一定
であることから、 $I_p \times D_p$ を求め、これを比較すれば
よい。

【0088】このように、光源から出射される光束を、
集光光学系の光軸近傍の第1光束を第1光ディスクの再生
及び第2光ディスクの再生に利用し、第1光束より外
側の第2光束を主に第2光ディスクの再生に利用し、第
2光束より外側の第3光束を主に第1光ディスクの再生
に利用することにより、光源からの光を光量損失をおさ
えつつ、1つの集光光学系で複数(本実施の形態では2
つ)の光ディスクの再生が可能となる。しかも、この場
合第2光ディスクの再生時には第3光束の大部分は不要
光であるが、この不要光が第2光ディスクの再生には利
用されないの、絞り17を第1光ディスクの再生に必要
な開口数にしておくだけで、絞り17の開口数を変える
手段を何ら必要とせずに再生することができる。

【0089】さらに詳述すると、本実施の形態における
対物レンズ16は、第1光ディスクを再生する際には
(図2(a)参照)第1分割面 S_d1 及び第3分割面 S_d3
を通過する第1光束及び第3光束(斜線で示される
光束)は、ほぼ同一の第1結像位置に結像し、その波面
収差(第2分割面 S_d2 を通過する第2光束を除いた波
面収差)は、 $0.05\lambda_{rms}$ 以下となっている。ここ
で、 λ は光源の波長である。

【0090】また、このとき、第2分割面 S_d2 を通過
する第2光束(破線で示される光束)は、第1結像位置
とは異なった第2結像位置に結像する。この第2結像位
置は、第1結像位置を0(零)としてそれより対物レン
ズ16側を負、その反対側を正とすると、第1結像位置
から $-27\mu m$ 以上 $-4\mu m$ 以下の距離にする(第2結
像位置を第1結像位置より対物レンズに近づける)。こ
れにより、主に第1光束及び第3光束で第1光ディスク
の再生が行われる。なお、この下限($-27\mu m$)を越
えると、球面収差の補正のし過ぎとなり、第1光ディス
クの再生時のスポット形状が悪くなり、また、上限($-4\mu m$)
を越え、第2光ディスクの再生時のスポット
径・サイドローブが大きくなる。なお、本実施の形態
では、 $t_1 < t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ であるので、第2結
像位置を第1結像位置から $-27\mu m \sim -4\mu m$ とした
が、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、第2結像位
置を第1結像位置から $4\mu m \sim 27\mu m$ にする。すなわ
ち、第1結像位置と第2結像位置との距離の絶対値は
 $4\mu m$ 以上 $27\mu m$ 以下の範囲内になるようにする。

【0091】また、上述の対物レンズ16を所定の厚さ

26

クの再生に使用する際には、図3に示すように、対物レ
ンズ16に入射する所定の光束(平行光束)の場合、第
1光束(右肩上がりの斜線で示す)のうち光軸近傍を通
過する光線が光軸と交わる位置と、光軸と直交する方向
で第1分割面 S_d1 の端部(第2分割面 S_d2 側)を通
過する光線が光軸と交わる位置との間に、第2光束(左
肩下がりの斜線で示す)の光線が光軸と交わる(結像す
る)ようになる。よって、第1光束及び第2光束は、第
2光ディスクの情報記録面近傍に集光され、第2光ディス
クの再生が行われる。このとき、第3光束(途中まで
破線で示される)はフレアとして発生するが、第1光束
及び第2光束で形成される核により第2光ディスクの再
生が可能となる。

【0092】換言すると、本発明は、開口数の小さい光
軸近傍を通過する第1光束を、再生できる全ての光ディス
クの再生に利用し、また、第1分割面より外側を通過
する光束を再生する各光ディスクに対応するように分
け、分けられた各光束を各光ディスク(本実施の形態で
は第1、第2光ディスク)の再生に利用する。このと
き、光ディスクの情報を再生するために必要な開口数が
大きい方の光ディスク(本実施の形態では第1光ディス
ク)の再生に利用する光束は、分けられた光束のうち第
1光束より離れた光束(本実施の形態では第3光束)と
する。

【0093】このような集光光学系(本実施の形態おい
ては対物レンズ16)を用いると、透明基板の厚さが異
なる複数の光ディスクを1つの集光光学系で再生するこ
とが可能となり、また、任意に面を設定できることによ
り、第2光ディスクの再生に必要な開口数 NA_2 を大き
くすることができる。また、光軸近傍の光束(第1光束)
を複数の光ディスクの再生に利用することで、光源から
の光束の光量損失が少なくなる。しかも、第2光ディス
ク再生時には、ビームスポットのサイドローブを減少さ
せ、ビーム強度の強い核を形成し、正確な情報が得られ
る。さらに、絞り17の開口数を変更する特別な手段を
必要とせずに複数の光ディスクを1つの集光光学系で再
生することができる。

【0094】また、本実施の形態では、光軸と直交する
方向で第2分割面 S_d2 中央位置(図2(a)参照)で
みたとき、開口数 NA_L から開口数 NA_H までの面であ
る第2分割面 S_d2 の法線と光軸とのなす角度が、光軸
から開口数 NA_L までの面である第1分割面 S_d1 及び
開口数 NA_H から開口数 NA_1 までの面である第3分割
面 S_d3 から内挿される面(後述する数1の非球面の式
を用いて最小自乗法でフィッティングを行った非球面)
の法線と光軸とのなす角度より大きくする。これにより
第1光ディスク及び第2光ディスクの双方を良好に再生
することが可能となる。なお、本実施の形態では、 t_2
 $> t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ であるので、第2分割面 S_d2

S d 3 から内装される面の法線と光軸とのなす角度より大としたが、 $t_2 < t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、小とすればよい。

【0095】また／さらに、本実施の形態では、光軸と直交する方向で第2分割面 S d 2 のほぼ中央位置（図2（a）参照）でみたとき、第2分割面 S d 2 の法線と光軸とのなす角度と、第1分割面 S d 1 及び第3分割面 S d 3 から内挿される面（後述する数1の非球面の式を用いて最小自乗法でフィッティングを行った非球面）の法線と光軸とのなす角度との差が、 0.02° 以上 1° 以下の範囲となるように、第1分割面 S d 1 ～第3分割面 S d 3 を設定することが好ましい。この下限を越すと第2光ディスクの再生時のスポット形状が悪化し、サイドローブ・スポット径が大きくなり、上限を越すと球面収差の補正し過ぎとなり第1光ディスク再生時のスポット形状が悪化する。

【0096】また、別の観点から本実施の形態を捕らえると、少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数に分割された複数の分割面（本実施の形態では3つの分割面）を有する対物レンズ16において、第2分割面 S d 2 より光軸側の第1分割面 S d 1 を透過した光と、第2分割面 S d 2 より光軸側とは反対側の第3分割面 S d 3 を透過した光とが、所定の厚さ（第1光ディスク）の透明基板を介して、ほぼ同じ位相となるようにしたとき、第1分割面 S d 1 を透過し透明基板を介した光と、光軸に直交する方向において第2分割面 S d 2 のほぼ中央位置（図2（a）参照）より光軸側の第2分割面 S d 2 を透過し透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta 1 L) \pi$ (rad) とし、第3分割面 S d 3 を透過し透明基板を介した光と、前記中央位置より光軸側とは反対側の第2分割面 S d 2 を透過し透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta 1 H) \pi$ (rad) とすると、 $(\Delta 1 H) > (\Delta 1 L)$ を満足する。なお、この場合、位相差の符号は、光の進行方向（光ディスクへ向かう方向）を正とし、第1分割面 S d 1 あるいは第3分割面 S d 3 を透過し透明基板を介した光に対する第2分割面 S d 2 を透過し透明基板を介した光の位相差を比較する。なお、本実施の形態では $t_1 < t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ であるので、 $(\Delta 1 H) > (\Delta 1 L)$ としたが、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、 $(\Delta 1 H) < (\Delta 1 L)$ とする。したがって、 $(\Delta 1 H) \neq (\Delta 1 L)$ とする。

【0097】これを別な観点からいえば、第1分割面 S d 1 と第2分割面 S d 2 との境界における第1分割面 S d 1 からの段差量より、第3分割面 S d 3 と第2分割面 S d 2 との境界における第3分割面 S d 3 からの段差量の方が、大きい（段差量の符号は、分割面を境にして屈折率が小から大に変化する方向を正とする。なお、以下段差量の符号の場合は同様にする）。この場合も上述と同様に、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、上記の関係は逆、すなわち、2分割面 S d 2 の第1分割面 S d

1 からの段差量より、第2分割面 S d 2 の第3分割面 S d 3 からの段差量の方が、小さくなる。さらに、光軸から所定の位置において、第1分割面 S d 1 と第3分割面 S d 3 とから内挿される面の位置と、第2分割面 S d 2 の位置との差が、第2分割面 S d 2 のほぼ中央位置を中心として非対称になっていることが好ましい。さらに、この場合、光軸から離れるに従いその差が大きくなることが好ましい。

【0098】なお、本実施の形態では、分割面 S d 1 ～ S d 3 を対物レンズ16の光源側の屈折面 S 1 に設けたが、光ディスク20側の屈折面に設けてもよく、また、他の集光光学系の光学素子（例えば、コリメータレンズ13など）の1つにこのような機能を持たせてもよく、さらに、新たにこのような機能を有する光学素子を光路上に設けてもよい。また、各分割面 S d 1 ～ S d 3 の機能を異なる光学素子に分解して設けてもよい。

【0099】また、本実施の形態では、コリメータレンズ13を用いた、いわゆる無限系の対物レンズ16を用いたが、コリメータレンズ13がなく光源からの発散光が直接又は発散光の発散度合いを減じるレンズを介した発散光が、入射するような対物レンズや、光源からの光束を収れん光に変更するカップリングレンズを用い、その収れん光が入射するような対物レンズに適用してもよい。

【0100】また、本実施の形態では、第1分割面 S d 1 ～第3分割面 S d 3 の境界に段差を設けたが、少なくとも一方の境界を段差を設けずに連続的に分割面を形成してもよい。また、分割面と分割面との境界は、境界を屈曲させることなく、例えば所定の曲率半径の面で接続させてもよい。

【0101】また、本実施の形態では、屈折面 S 1 を3つの分割面 S d 1 ～ S d 3 で構成したが、これに限られず、少なくとも3つ以上の分割面で構成すればよい。この場合、光軸近傍には第1光ディスク及び第2光ディスクの再生に利用する第1分割面を設け、この第1分割面より外側（光軸から離れる方向）の分割面は、主に第2光ディスクの再生に利用する分割面と主に第1光ディスクの再生に利用する分割面とを交互に設けることが好ましい。また、この場合、 $0.60 (NA_2) < NA_3 < 1.3 (NA_2)$ 、 $0.01 < NA_4 - NA_3 < 0.12$ の条件を満足する対物レンズ16の光ディスク側の開口数 NA_3 と開口数 NA_4 の間に、主に第2光ディスクの再生に利用する分割面を設けることが好ましい。これにより、第1光ディスクに集光させる光スポットの強度を落とすことなく、第2光ディスクとしてより大きな必要開口数の光ディスクを再生することができる。さらに、 NA_3 の上限は $NA_3 < 1.1 (NA_2)$ であることが実用上好ましく、また NA_3 の下限は $0.80 (NA_2) < NA_3$ が好ましく、さらに $0.85 (NA_2) < NA_3$ であることが実用上好ましい。また、 $NA_4 -$

NA3の上限は、 $NA4 - NA3 < 0.1$ であることが好ましい。

【0102】また、本実施の形態では、1つの光源を用いて複数の光ディスクの再生を行うようにしたが、再生する光ディスク毎に複数の光源を用いてもよい。

【0103】また、本実施の形態では、光源側から対物レンズ16を見たときに、第2分割面Sd2を光軸と同心円状の環形状で設けたが、これに限られず、途切れた環状で設けてもよい。また、第2分割面Sd2をホログラムやフレネルで構成してもよい。なお、第2分割面Sd2をホログラムで構成した場合、0次光と1次光とに分けた光束の一方を第1光ディスクの再生に利用し、他方を第2光ディスクの再生に利用する。このとき、第2光ディスクの再生に利用する光束の光量の方が、第1光ディスクの再生に利用する光束の光量より大きいことが好ましい。

【0104】また、本実施の形態において、第1光ディスクを再生する際（すなわち、厚さ t_1 の透明基板を介したとき）第1分割面Sd1及び第3分割面Sd3を通過する光束による最良波面収差が $0.05\lambda_{rms}$ （ただし、 λ （nm）は第1光ディスクを再生する際に使用する光源の波長）を満たすだけでなく、さらに、第2光ディスクを再生する際（すなわち、厚さ t_2 の透明基板を介したとき）第1分割面Sd1を通過する光束による最良波面収差が回折限界である $0.07\lambda_{rms}$ （ただし、 λ （nm）は第2光ディスクを再生する際に使用する光源の波長）を満たすことにより、第2光ディスクの再生信号を良好にすることができる。

【0105】（第2の実施の形態）次に、第2の実施の形態について、対物レンズ16の球面収差図を模式的に示した図である図4に基づいて説明する。図4において、（a）は第1光ディスクを再生、すなわち、厚さ t_1 の透明基板を介したときの球面収差図であり、（b）は第2光ディスクを再生、すなわち、厚さ t_2 （本実施の形態では $t_2 > t_1$ ）の透明基板を介したときの球面収差図である。ここで、第1光ディスクの情報を再生するために必要な集光光学系の光ディスク側の必要開口数をNA1、第2光ディスクの情報を再生するために必要な集光光学系の光ディスク側の必要開口数をNA2（ただし、 $NA2 > NA1$ ）、対物レンズ16の分割面Sd1とSd2との境界を通過する光束の光ディスク側の開口数をNAL、対物レンズ16の分割面Sd1とSd2との境界を通過する光束の光ディスク側の開口数をNALとする。

【0106】なお、第2の実施の形態は、上述した第1の実施の形態に記載した対物レンズ16を別の観点（球面収差、形状、波面収差など）から見たものであって、以下に記載しない箇所は第1の実施の形態と同様である。

レンズ16は、まず、透明基板の厚さが t_1 の第1光ディスクに集光させた光束の最良波面収差が $0.05\lambda_{rms}$ 以下となるように第1屈折面S1の第1非球面と第2屈折面S2（共通屈折面）を設計する。この設計により得られたレンズの球面収差図が図4（c）である。そして、この第1非球面を有するレンズを介して透明基板の厚さが t_2 （ $t_2 \neq t_1$ ）の第2光ディスクに集光させた時の球面収差（図4（e）この場合、 $t_2 > t_1$ ）の発生量よりも、少ない球面収差となるように第2屈折面S2（共通屈折面）はそのまま第1屈折面の第2非球面を設計する。このとき、第2非球面の近軸曲率半径と第1非球面の近軸曲率半径とは同じにすることが、デフォーカス状態で再生を行う第2光ディスクの再生を良好に行うために好ましい。この設計により得られたレンズの第2光ディスクに集光させた時の球面収差図が図4（f）であり、また、このレンズで第1光ディスクに集光させたときのレンズの収差図が図4（d）である。そして、この第1非球面の第2光ディスクの必要開口数NA2近傍で、第2非球面を合成する。ここで、第2非球面を合成する必要開口数NA2近傍とは、 0.60 （NA2） $< NA3 < 1.3$ （NA2）の条件（この下限 0.60 （NA2）は実用上、 0.80 （NA2）が好ましく、さらに 0.85 （NA2）であることが好ましい。また、この上限 1.3 （NA2）は実用上 1.1 （NA2）であることが好ましい）を満たすとともに、 $0.01 < NA4 - NA3 < 0.12$ （好ましくは、 0.1 ）の条件を満たす対物レンズ16の光ディスク側の開口数NA3と開口数NA4の間であることが好ましい。この合成した第2非球面（第2分割面）で光軸に近い側を開口数NALとし、遠い側をNAH（すなわち、 $NAL < NAH$ ）とする。

【0108】したがって、この対物レンズ16の屈折面S1における面形状としては、光軸を含む第1分割面Sd1と第1分割面Sd1より外側の第3分割面Sd3とは同じ非球面形状（第1非球面）となり、その第1分割面Sd1と第3分割面Sd3との間（第2光ディスクの再生に必要な開口数NA2近傍、すなわち、 $NAL \sim NAH$ ）の第2分割面Sd2は、第1分割面Sd1及び第3分割面Sd3とは異なる非球面形状（第2非球面）となる。得られたレンズが本実施の形態の対物レンズ16となり、この対物レンズ16を用いて第1光ディスクに集光させたときの球面収差図は図4（a）となり、第2光ディスクに集光させたときの球面収差図は図4（b）となる。

【0109】なお、第1非球面と第2非球面を合成する場合、第2分割面Sd2を光軸方向にずらして合成して、位相差を利用することにより、第1光ディスク再生時の集光光量のアップを図ることができる。

【0110】本実施の形態において非球面の式は、

【0111】

$$X = (H^2/r) \left[1 + \sqrt{1 - (1+K)(H/r)^2} \right] + \sum_j A_j H^{P_j}$$

【0112】に基づくものとする。ただし、Xは光軸方向の軸、Hは光軸と垂直方向の軸、光の進行方向を正とし、rは近軸曲率半径、Kは円錐係数、 A_j は非球面係数、 P_j は非球面のべき数（ただし、 $P_j \geq 3$ ）である。なお、本発明には、上式以外の他の非球面の式を用いてもよい。なお、非球面形状から非球面の式を求める際には、上式を用い、 P_j を $3 \leq P_j \leq 10$ の自然数とし、 $K=0$ として求める。

【0113】上述したように、本実施の形態において得られた対物レンズ16は、開口数NA2の近傍の少なくとも2つの開口位置（NALとNAH）で、透明基板の厚さが異なる複数の光ディスクを1つの集光光学系で再生できるように、球面収差が不連続に変化するように構成している。このように球面収差が不連続に変化するようにしたので、各々の開口数の範囲（本実施の形態では、光軸～NALの第1分割面、NALからNAHの第2分割面、NAH～NA1の第3分割面）を通過する光束（本実施の形態では第1光束～第3光束）を任意に構成することができ、第1光束を再生する複数の光ディスク全ての再生に利用し、第2光束及び第3光束をそれぞれ複数の光ディスクのうち所定の光ディスクの再生に利用することが可能となり、1つの集光光学系（本実施の形態では対物レンズ16）で複数の光ディスクを再生でき、低コストかつ複雑化しないで実現でき、さらに、高NAの光ディスクにも対応できる。しかも、絞り17は、高NAであるNA1に対応するように設けるだけでよく、光ディスク再生に必要な開口数（NA1あるいはNA2に）が変化したとしても、絞り17を変化させる手段を何ら設ける必要もない。なお、本発明でいう「球面収差が不連続に変化する」とは、球面収差図で見たときに急激な球面収差の変化が見られることをいう。

【0114】さらに、球面収差の不連続に変化する方向は、小さい開口数から大きい開口数へと見たときに、開口数NALでは球面収差が負の方向に、開口数NAHでは球面収差が正の方向になっている。これにより、薄い透明基板の厚さt1の光ディスクの再生が良好になるとともに、これより厚い透明基板の厚さt2の光ディスクの再生が良好に行うことができる。なお、本実施の形態では $t_2 > t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ であるために、上述したように球面収差は、開口数NALでは負の方向に、開口数NAHでは正の方向に不連続に変化するが、 $t_2 < t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、開口数NALでは正の方向に、開口数NAHでは負の方向に球面収差が不連続に変化することになる。

【0115】さらに、透明基板の厚さt2の第2光ディスクを再生する際には、開口数NALから開口数NAH

までの間の球面収差（第2分割面Sd2を通過する光束による球面収差）が正となるようにすることにより、光ピックアップ装置10のS字特性が向上する。なお、本実施の形態では $t_2 > t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ であるために、開口数NALから開口数NAHまでの間の球面収差が正となるようにしたが、 $t_2 < t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、負とするといよい。

【0116】さらに、厚さt1の透明基板を介した際（図4（a）参照）に、開口数がNA1のなかで、NAL～NAHの間を通過する光束を除いた、すなわち、光軸～NALおよびNAH～NA1を通過する光束による波面収差が 0.05λ rms以下（ただし、 λ は光源の波長）とすることにより、透明基板の厚さがt1の第1光ディスクの再生が良好になる。

【0117】また、 $t_1 = 0.6\text{ mm}$ 、 $t_2 = 1.2\text{ mm}$ 、 $610\text{ nm} < \lambda < 670\text{ nm}$ 、 $0.32 < NA_2 < 0.41$ としたとき、 $0.60(NA_2) < NAL < 1.3(NA_2)$ の条件（この下限 $0.60(NA_2)$ は実用上、 $0.80(NA_2)$ が好ましく、さらに $0.85(NA_2)$ であることが好ましい。また、この上限 $1.3(NA_2)$ は実用上 $1.1(NA_2)$ であることが好ましい）を満たすことが好ましい。この下限を越すとサイドローブが大きくなり情報の正確な再生ができず、上限を越すと波長 λ とNA2において想定される回折限界スポット径以上に絞られすぎる。なお、ここでいうNALは、第2分割面Sd2上でのNALを指す。

【0118】また、 $0.01 < NAH - NAL < 0.12$ （この上限 0.12 は、実用上、 0.1 であることが更に好ましい）の条件を満たすことが好ましい。この下限を越すと第2光ディスクの再生時のスポット形状が悪化し、サイドローブ・スポット径が大きくなり、上限を越すと第1光ディスクの再生時のスポット形状が乱れ、光量低下を引き起こす。なお、ここでいうNALおよびNAHは、第2分割面Sd2上でのNALおよびNAHを指す。

【0119】また、別な観点から言うと（再述になるが）、 $0.60(NA_2) < NA_3 < 1.3(NA_2)$ の条件（この下限 $0.60(NA_2)$ は実用上、 $0.80(NA_2)$ が好ましく、さらに $0.85(NA_2)$ であることが好ましく、また、この上限 $1.3(NA_2)$ は実用上 $1.1(NA_2)$ であることが好ましい）を満たすとともに、 $0.01 < NA_4 - NA_3 < 0.12$ （好ましくは、 0.1 ）の条件を満足する対物レンズ16の光ディスク側の開口数NA3と開口数NA4の間に、前述したNALとNAHとを設ける（すなわち、主に第2光ディスクの再生に利用する分割面を設ける）。これにより、第1光ディスクに集光させる光スポットの強度をあまり落とすことなく、第2光ディスクとしてより大きな必要開口数の光ディスクを再生することができる。

10

20

30

40

50

【0120】また、第2光ディスクの再生時(t_2 の厚さの透明基板を介した際)に、開口数NALから開口数NAHの間の球面収差が、 $-2\lambda / (NA_2)^2$ 以上、 $5\lambda / (NA_2)^2$ 以下の条件を満たすことが好ましい。さらに、この条件は、再生の場合は $3\lambda / (NA_2)^2$ が以下が好ましく、あるいは、記録をも考慮すると(勿論、再生もできる)0(零)より大きいことが好ましい。この下限を越すと球面収差の補正し過ぎとなり第1光ディスク再生時のスポット形状が悪化し、上限を越すと第2光ディスクの再生時のスポット形状が悪化し、サイドローブ・スポット径が大きくなる。特に、この条件は、 $0 \sim 2\lambda / (NA_2)^2$ の範囲を満足することが更に好ましく、この場合、フォーカスエラー信号が良好に得られる。

【0121】一方、本実施の形態では、光軸と直交する方向で第2分割面Sd2中央位置でみたとき、第2分割面Sd2の法線と光軸とのなす角度が、第1分割面Sd1及び第3分割面Sd3から内挿される面の法線と光軸とのなす角度より大きくする。これにより第1光ディスク及び第2光ディスクの双方を良好に再生することが可能となる。なお、本実施の形態では、 $t_2 > t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ であるので、第2分割面Sd2の法線と光軸とのなす角度が、第1、3分割面Sd1、Sd3から内装される面の法線と光軸とのなす角度より大としたが、 $t_2 < t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、小とすればよい。

【0122】また／さらに、本実施の形態の対物レンズ16は、光軸と直交する方向で開口数NALと開口数NAH(第2分割面Sd2)のほぼ中央位置でみたとき、開口数NALから開口数NAHまでの面(第2分割面)の法線と光軸とのなす角度と、光軸から開口数NALまでの面(第1分割面)及び開口数NAHから開口数NA1までの面(第3分割面)から内挿される面(上述した数1の非球面の式を用いて最小自乗法でフィッティングを行った非球面)の法線と光軸とのなす角度との差が、 0.02° 以上 1° 以下の範囲であることが好ましい。この下限を越すと第2光ディスクの再生時のスポット形状が悪化し、サイドローブ・スポット径が大きくなり、上限を越すと球面収差の補正し過ぎとなり第1光ディスク再生時のスポット形状が悪化する。

【0123】また、特に、 $t_2 > t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ で、光軸から円周方向へとみたとき、開口数NALでは、屈折面の法線と光軸との交点が、光源側の屈折面に近づく方向に不連続に変化し、開口数NAHでは、屈折面の法線と光軸との交点が、光源側の屈折面から遠のく方向に不連続に変化している。これにより、薄い透明基板の厚さ t_1 の光ディスクの再生が良好になるとともに、これより厚い透明基板の厚さ t_2 の光ディスクの再生が良好に行うことができる。

【0124】また、上述した第1の実施の形態と同様

に、別の観点から本実施の形態を捕らえると、少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数に分割された複数の分割面(本実施の形態では3つの分割面)を有する対物レンズ16において、第1分割面Sd1を透過した光と、第3分割面Sd3を透過した光とが、所定の厚さの(第1光ディスクの)透明基板を介して、ほぼ同じ位相となるようにしたとき、第1分割面Sd1を透過し透明基板を介した光と、第2分割面Sd2のほぼ中央位置より光軸側の第2分割面Sd2を透過し透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta 1 L) \pi$ (rad)とし、第3分割面Sd3を透過し透明基板を介した光と、前記中央位置より光軸側とは反対側の第2分割面Sd2を透過し透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta 1 H) \pi$ (rad)とすると、 $(\Delta 1 H) > (\Delta 1 L)$ を満足する。なお、本実施の形態では $t_1 < t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ であるので、 $(\Delta 1 H) > (\Delta 1 L)$ としたが、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、 $(\Delta 1 H) < (\Delta 1 L)$ とする。したがって、 $(\Delta 1 H) \neq (\Delta 1 L)$ とする。

【0125】これを別な観点から言えば、第2分割面Sd2の第1分割面Sd1からの段差量より、第2分割面Sd2の第3分割面Sd3からの段差量の方が、大きい。この場合も上述と同様に、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、第1分割面Sd1と第2分割面Sd2との境界における第1分割面Sd1からの段差量より、第3分割面Sd3と第2分割面Sd2との境界における第3分割面Sd3からの段差量の方が、小さくなる。さらに、光軸から所定の位置において、第1分割面Sd1と第3分割面Sd3とから内挿される面の位置と、第2分割面Sd2の位置との差が、第2分割面Sd2のほぼ中央位置を中心として非対称になっていることが好ましい。さらに、この場合、光軸から離れるに従いその差が大きくなるのが好ましい。

【0126】また、本実施の形態の対物レンズ16の波面収差は図5の如くである。図5は縦軸に波面収差(λ)横軸に開口数をとった波面収差曲線であり、(a)は第1光ディスクの透明基板(厚さ t_1)を介したときを、(b)は第2光ディスクの透明基板(厚さ t_2)を介したときの波面収差曲線を実線で表している。なお、この波面収差曲線は、それぞれの透明基板を介したときに最良の波面収差となる状態で干渉計などを用いて波面収差を測定して得る。

【0127】図から分かるように、本実施の形態の対物レンズ16は、波面収差曲線で見ると、開口数NA2近傍の2カ所(具体的には、NALとNAH)で波面収差が不連続となっている。また、不連続となっている部分に発生する最大の波面収差の不連続量は、長さの単位(mm)で表すと、 $0.05 (NA_2)^2$ (mm)以下、位相差の単位(rad)で表すと、 $2\pi \{0.05 (NA_2)^2\} / \lambda$ (rad)以下(ただし、この場合 λ は使用波長で単位はmm)とすることが望ましい。こ

れ以上では、波長変動による波面収差の変動が大きくなり、半導体レーザの波長のバラツキを吸収できなくなる。さらに、この不連続の部分（NALとNAHと間）の波面収差の傾きは、不連続となっている部分の両側の曲線の端部（NALに最も近い端部とNAHに最も近い端部）を結ぶ曲線（図5（a）の破線）の傾きは、異なる傾きとなっている。

【0128】なお、本実施の形態では、分割面Sd1～Sd3を対物レンズ16の光源側の屈折面S1に設けたが、光ディスク20側の屈折面に設けてもよく、また、他の集光光学系の光学素子（例えば、コリメータレンズ13など）の1つにこのような機能を持たせてもよく、さらに、新たにこのような機能を有する光学素子を光路上に設けてもよい。また、各分割面Sd1～Sd3の機能を異なる光学素子に分解して設けてもよい。

【0129】また、本実施の形態では、コリメータレンズ13を用いた、いわゆる無限系の対物レンズ16を用いたが、コリメータレンズ13がなく光源からの発散光が直接又は発散光の発散度を減じるレンズを介した発散光が、入射するような対物レンズや、光源からの光束を収れん光に変更するカップリングレンズを用い、その収れん光が入射するような対物レンズに適用してもよい。

【0130】また、本実施の形態では、第1分割面Sd1～第3分割面Sd3の境界に段差を設けたが、少なくとも一方の境界を段差を設けずに連続的に分割面を形成してもよい。また、分割面と分割面との境界は、屈曲させることなく、例えば所定のRで以て接続させてもよい。このRは意図的に設けたものであってもよく、また、意図的に設けたものでなくてもよい（この意図的に設けたものではない例として、対物レンズ16をプラスチック等で形成する場合に、金型を加工する上で形成される境界のRがある）。

【0131】また、本実施の形態では、屈折面S1を3つの分割面Sd1～Sd3で構成したが、これに限られず、少なくとも3つ以上の分割面で構成すればよい。この場合、光軸近傍には第1光ディスク及び第2光ディスクの再生に利用する第1分割面を設け、この第1分割面より外側（光軸から離れる方向）の分割面は、主に第2光ディスクの再生に利用する分割面と主に第1光ディスクの再生に利用する分割面とを交互に設けることが好ましい。また、この場合、複数の分割面（球面収差が不連続になる位置）のうち最も小さい開口数をNALとし、また、複数の分割面（球面収差が不連続になる位置）のうち最も大きい開口数をNAHとして考え、このNALとNAHとは、上述した条件を満足することが好ましい。

【0132】また、本実施の形態では、光源側から対物レンズ16を見たときに、第2分割面Sd2を光軸と同心円状の環形状で設けたが、これに限られず、途切れた

環状で設けてもよい。また、第2分割面Sd2をホログラムやフレネルで構成してもよい。なお、第2分割面Sd2をホログラムで構成した場合、0次光と1次光とに分けた光束の一方を第1光ディスクの再生に利用し、他方を第2光ディスクの再生に利用する。このとき、第2光ディスクの再生に利用する光束の光量の方が、第1光ディスクの再生に利用する光束の光量より大きいことが好ましい。

【0133】また、本実施の形態において、第1非球面を設計する際には、前述したように厚さt1の透明基板を介したとき第1分割面Sd1と第3分割面Sd3を通過する光束による最良波面収差が $0.05\lambda\text{rms}$ （ただし、 λ （nm）は第1光ディスクを再生する際に使用する光源の波長）以下とするだけでなく、厚さt2の透明基板を介したとき第1分割面Sd1を通過する光束による最良波面収差が回折限界である $0.07\lambda\text{rms}$ （ただし、 λ （nm）は第2光ディスクを再生する際に使用する光源の波長）を満たすように設計を行うことにより、第2光ディスク再生信号を良好にすることができる。

【0134】（第3の実施の形態）次に、第3の実施の形態について、光ピックアップ装置の概略構成図である図6に基づいて説明する。上述した第1及び第2の実施の形態では光ピックアップ装置10として1つの光源11を用いた実施の形態であったが、本実施の形態は光源111、112を2つ用いた光ピックアップ装置10である。

【0135】本実施の形態においては、第1光ディスクの再生時には第1光源である第1半導体レーザ111（波長 $\lambda_1=610\text{nm}\sim 670\text{nm}$ ）と、第2光ディスクの再生時には第2光源である第2半導体レーザ112（波長 $\lambda_2=740\text{nm}\sim 870\text{nm}$ ）とを有している。また、合成手段19は、第1半導体レーザ111から出射された光束と第2半導体レーザ112から出射された光束とを合成することが可能な手段であって、両光束を1つの集光光学系を介して光ディスク20に集光させるために、同一光路となす手段である。

【0136】まず、第1光ディスクを再生する場合、第1半導体レーザ111からビームを出射し、出射された光束は、合成手段19、偏光ビームスプリッタ12、コリメータレンズ13、1/4波長板14を透過して円偏光の平行光束となる。この光束は、絞り17によって絞られ、対物レンズ16により第1光ディスク20の透明基板21を介して情報記録面22上に集光される。そして、情報記録面22で情報ビットにより変調されて反射した光束は、再び対物レンズ16、1/4波長板14、コリメータレンズ13を透過して偏光ビームスプリッタ12に入射し、ここで反射してシリンダカルレンズ18により非点収差が与えられ光検出器30上へ入射し、光検出器30から出力される信号を用いて第1光ディス

ク20に記録された情報の読み取り（再生）信号が得られる。また、光検出器30上でのスポットの形状変化による光量分布変化を検出して、合焦検出やトラック検出を行う。この検出に基づいて2次元アクチュエータ15が半導体レーザ11からの光を第1光ディスク20の情報記録面22上に結像するように対物レンズ16を移動させるとともに、半導体レーザ11からの光を所定のトラックに結像するように対物レンズ16を移動させる。

【0137】一方、第2光ディスクを再生する場合、第2半導体レーザ112からビームを出射し、出射された光束は合成手段19により光路を変更され、その後、偏光ビームスプリッタ12、コリメータレンズ13、1/4波長板14、絞り17、対物レンズ16を介して第2光ディスク20上に集光される。そして、情報記録面22で情報ビットにより変調されて反射した光束は、再び対物レンズ16、1/4波長板14、コリメータレンズ13、偏光ビームスプリッタ12、シリンドリカルレンズ18を介して光検出器30に入射し、光検出器30から出力される信号を用いて第2光ディスク20に記録された情報の読み取り（再生）信号が得られる。また、光検出器30上でのスポットの形状変化による光量分布変化を検出して、合焦検出やトラック検出を行う。この検出に基づいて2次元アクチュエータ15が半導体レーザ11からの光を第2光ディスク20の情報記録面22上にデフォーカス状態で結像するように対物レンズ16を移動させるとともに、半導体レーザ11からの光を所定のトラックに結像するように対物レンズ16を移動させる。

【0138】このような光ピックアップ装置10の集光光学系の1つである対物レンズ16に、第1及び第2の実施の形態に記載したような対物レンズ16を用いる。すなわち、対物レンズ16は、光源側の屈折面S1及び光ディスク20側の屈折面S2はともに非球面形状を呈した正の屈折力を有した凸レンズであり、光源側の屈折面S1は、光軸と同心状に複数（本実施の形態では3つ）の第1分割面Sd1～第3分割面Sd3から構成し、分割面Sd1～Sd3の境界は段差を設ける。そして、第1分割面Sd1及び第3分割面Sd3は、第1光源111から出射して第1光ディスクに集光させた光束の最良波面収差が $0.05\lambda_{rms}$ 以下となるような第1非球面で形成し、また、第2分割面は、第1非球面を有するレンズを介して第2光源112の光束を透明基板の厚さが t_2 （ $t_2 \neq t_1$ ）の第2光ディスクに集光させた時の球面収差の発生量よりも、少ない球面収差となるように第2非球面で形成し、この第1非球面の第2光ディスクの必要開口数NA2近傍であるNAL～NAHに、第2非球面を合成した対物レンズとする。

【0139】本実施の形態において得られた対物レンズ16は、以下の点を除き上述した第2の実施の形態と同様の構成・作用効果を持つことになり、さらに、2つの

光源を用いるので、複数の光ディスクを再生するに際して自由度が大きくなる。

【0140】本実施の形態では2つの光源111、112を用いているので、以下の好ましい範囲が上述した第2の実施の形態と異なる。

【0141】すなわち、 $t_1 = 0.6\text{mm}$ 、 $t_2 = 1.2\text{mm}$ 、 $610\text{nm} < \lambda_1 < 670\text{nm}$ 、 $740\text{nm} < \lambda_2 < 870\text{nm}$ 、 $0.40 < \text{NA}_2 < 0.51$ としたとき、 $0.60 (\text{NA}_2) < \text{NAL} < 1.1 (\text{NA}_2)$ の条件（この下限 $0.60 (\text{NA}_2)$ は実用上、 $0.80 (\text{NA}_2)$ が好ましく、さらに $0.85 (\text{NA}_2)$ であることが好ましい）を満たすことが好ましい。この下限を越すとサイドローブが大きくなり情報の正確な再生ができず、上限を越すと波長 λ_2 とNA2において想定される回折限界スポット径以上に絞られすぎる。なお、ここでいうNALは第2光源112を用いたときの第2分割面Sd2上でのNALを指す。

【0142】また、 $0.01 < \text{NAH} - \text{NAL} < 0.12$ （この上限 0.12 は、実用上、 0.1 であることが更に好ましい）の条件を満たすことが好ましい。この下限を越すと第2光ディスクの再生時のスポット形状が悪化し、サイドローブ・スポット径が大きくなり、上限を越すと第1光ディスクの再生時のスポット形状が乱れ、光量低下を引き起こす。なお、ここでいうNALおよびNAHは、第2光源112を用いたときの第2分割面Sd2上でのNALおよびNAHを指す。

【0143】また、第2光ディスクの再生時（ t_2 の厚さの透明基板を介した際に、開口数NALから開口数NAHの間の球面収差が、 $-2(\lambda_2) / (\text{NA}_2)^2$ 以上、 $(5(\lambda_2)) / (\text{NA}_2)^2$ 以下の条件を満たすことが好ましい。さらに、この条件は、再生の場合は $3(\lambda_2) / (\text{NA}_2)^2$ が以下が好ましく、あるいは、記録をも考慮すると（勿論、再生もできる）0（零）より大きいことが好ましい。この下限を越すと球面収差の補正し過ぎとなり第1光ディスク再生時のスポット形状が悪化し、上限を越すと第2光ディスクの再生時のスポット形状が悪化し、サイドローブ・スポット径が大きくなる。特に、この条件は、 $0 \sim 2(\lambda_2) / (\text{NA}_2)^2$ の範囲を満足することが更に好ましく、この場合、フォーカスエラー信号が良好に得られる。

【0144】また、別な観点から言うと、 $0.60 (\text{NA}_2) < \text{NA}_3 < 1.1 (\text{NA}_2)$ の条件（この下限 $0.60 (\text{NA}_2)$ は実用上 $0.80 (\text{NA}_2)$ が好ましく、さらに $0.85 (\text{NA}_2)$ であることが好ましい）を満足するとともに、 $0.01 < \text{NA}_4 - \text{NA}_3 < 0.12$ （好ましくは、 0.1 ）の条件を満足する対物レンズ16の光ディスク側の開口数NA3と開口数NA4の間に、前述したNALとNAHとを設ける（すなわち、主に第2光ディスクの再生に利用する分割面を設ける）ことである。これにより、第1光ディスクに集光さ

せる光スポットの強度を落とすことなく、第2光ディスクとしてより大きな必要開口数の光ディスクを再生することができる。

【0145】一方、本実施の形態では、光軸と直交する方向で第2分割面S_{d2}中央位置でみたとき、第2分割面S_{d2}の法線と光軸とのなす角度が、第1分割面S_{d1}及び第3分割面S_{d3}から内挿される面の法線と光軸とのなす角度より大きくする。これにより第1光ディスク及び第2光ディスクの双方を良好に再生することが可能となる。なお、本実施の形態では、 $t_2 > t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ であるので、第2分割面S_{d2}の法線と光軸とのなす角度が、第1、3分割面S_{d1}、S_{d3}から内装される面の法線と光軸とのなす角度より大としたが、 $t_2 < t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ のである場合は、小とすればよい。

【0146】また／さらに、実施の形態の対物レンズ16は、開口数がNA₂近傍の少なくとも2つの開口位置(NA_LおよびNA_H)に対応する対物レンズ16の屈折面S₁の円周位置で、該屈折面の法線と光軸とがなす角度が0.05度以上0.50度未満に変化することが好ましい。この下限を越すと第2光ディスクの再生時のスポット形状が悪化し、サイドローブ・スポット径が大きくなり、上限を越すと球面収差の補正し過ぎとなり第1光ディスク再生時のスポット形状が悪化する。

【0147】特に、 $t_2 > t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ で、光軸から円周方向へとみたとき、開口数NA_Lでは、屈折面の法線と光軸との交点が、光源側の屈折面に近づく方向に不連続に変化し、開口数NA_Hでは、屈折面の法線と光軸との交点が、光源側の屈折面から遠のく方向に不連続に変化している。これにより、薄い透明基板の厚さ t_1 の光ディスクの再生が良好になるとともに、これより厚い透明基板の厚さ t_2 の光ディスクの再生が良好に行うことができる。

【0148】また、上述した第1、2の実施の形態と同様に、別の観点から本実施の形態を捕らえると、少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数に分割された複数の分割面(本実施の形態では3つの分割面)を有する対物レンズ16において、第1分割面S_{d1}を透過した光と、第3分割面S_{d3}を透過した光とが、所定の厚さ(第1光ディスク)の透明基板を介して、ほぼ同じ位相となるようにしたとき、第1分割面S_{d1}を透過し透明基板を介した光と、第2分割面S_{d2}のほぼ中央位置より光軸側の第2分割面S_{d2}を透過し透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta 1L)\pi$ (rad)とし、第3分割面S_{d3}を透過し透明基板を介した光と、前記中央位置より光軸側とは反対側の第2分割面S_{d2}を透過し透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta 1H)\pi$ (rad)とすると、 $(\Delta 1H) > (\Delta 1L)$ を満足する。この場合も上述と同様に、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、 $(\Delta 1H) < (\Delta 1L)$ とする。したがって、

$(\Delta 1H) \neq (\Delta 1L)$ とする。

【0149】これを別な観点から言えば、第2分割面S_{d2}の第1分割面S_{d1}からの段差量より、第2分割面S_{d2}の第3分割面S_{d3}からの段差量の方が、大きい。この場合も上述と同様に、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、第1分割面S_{d1}と第2分割面S_{d2}との境界における第1分割面S_{d1}からの段差量より、第3分割面S_{d3}と第2分割面S_{d2}との境界における第3分割面S_{d3}からの段差量の方が、小さくなる。さらに、光軸から所定の位置において、第1分割面S_{d1}と第3分割面S_{d3}とから内挿される面の位置と、第2分割面S_{d2}の位置との差が、第2分割面S_{d2}のほぼ中央位置を中心として非対称になっていことが好ましい。さらに、この場合、光軸から離れるに従いその差が大きくなることが好ましい。

【0150】なお、上述した第1、2の実施の形態と同様に、分割面S_{d1}～S_{d3}を対物レンズ16の屈折面S₁に設けること、無限系の対物レンズを用いること、分割面に段差を設けること、分割面の数、第2分割面の面形状など、本実施の形態に記載した内容に限られるものではない。

【0151】また、本実施の形態では、第1光源111と第2光源112とを合成手段19により合成するようにしたが、これに限られず、図1に示した光ピックアップ装置において光源11を第1光源111と第2光源112とに切り替わるようにしてもよい。

【0152】また、本実施の形態において、第1光ディスクを再生する際(すなわち、厚さ t_1 の透明基板を介したとき)第1分割面S_{d1}及び第3分割面S_{d3}を通過する光束による最良波面収差が $0.05\lambda_{rms}$ (ただし、 λ (nm)は第1光ディスクを再生する際に使用する光源の波長)を満たすだけでなく、さらに、第2光ディスクを再生する際(すなわち、厚さ t_2 の透明基板を介したとき)第1分割面S_{d1}を通過する光束による最良波面収差が回折限界である $0.07\lambda_{rms}$ (ただし、 λ (nm)は第2光ディスクを再生する際に使用する光源の波長)を満たすことにより、第2光ディスクの再生信号を良好にすることができる。

【0153】なお、この実施の形態における対物レンズ16においては、本出願人が誤って上述した第1(又は2)の実施の形態に示す光ピックアップ装置に用いたところ、第1光ディスクとしてDVDの再生は勿論のこと、驚くべきことに、同じ波長の光源で第2光ディスクとしてCDの再生もできた。すなわち、本実施の形態の対物レンズ16は、波長 λ_1 の光源を用いて透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体及び透明基板の厚さが t_2 (ただし、 $t_2 \neq t_1$)の第2光情報記録媒体の情報記録面上に集光させることができるとともに、波長 λ_2 (ただし、 $\lambda_2 \neq \lambda_1$)の光源を用いた場合であっても第2光情報記録媒体の情報記録面上に集光することが

できるものである。このことにより、波長の異なる2つの光源を使用しDVDとCD-Rの再生をする光ピックアップ装置（DVD用に波長610nm～670nmの光源とCD-R用に必須な波長780nmの光源に対応）に用いる対物レンズと、1つの光源でDVDやCDの再生をする光ピックアップ装置（波長610nm～670nmの光源に対応）に用いる対物レンズとを共通化することができ、大量生産に伴う低コスト化を実現することができる。なお、このように共通化できるのは、光源の波長が λ_2 から λ_1 に変えたとしても、第1、2の実施の形態に記載したNALやNAHの条件を満足することが必要である。

【0154】なお、本実施の形態においては、第1光源111と第2光源112とをほぼ同じ倍率で使用しているので、1つの光検出器30とすることができ、構成を簡単することができるが、各々の光源111、112に対応させて2つの光検出器を設けてもよく、さらに倍率を異ならせてもよい。

【0155】（第4の実施の形態）次に、第4の実施の形態について、対物レンズ16を模式的に示した図7に基づいて説明する。図7（a）は対物レンズ16の断面図であり、（b）は光源側から見た正面図である。本実施の形態は、上述した第1～第3の実施の形態に記載した光ピックアップ装置に用いられる対物レンズ16の変形例であり、上述した第1～第3の実施の形態に記載した対物レンズ16の光源側の面を3分割の屈折面としたものであるのに対し、本実施の形態の対物レンズ16は光源側の面を5分割の屈折面としたものである。なお、本実施の形態は5分割にしたものであり、他は上述した第1～第3の実施の形態と同様であるので、説明を省略することもある。

【0156】本実施の形態において、対物レンズ16は、光源側の屈折面S1及び光ディスク20側の屈折面S2は共に非球面形状を呈した正の屈折力を有した凸レンズである。また、対物レンズ16の光源側の屈折面S1は、光軸と同心状に5つの第1分割面Sd1～第5分割面Sd5、すなわち、光軸を含む（光軸近傍の）第1分割面（Sd1）より光軸から離れる方向に順に第2分割面Sd2・・・第2n+1（ただし、nは自然数であり、本実施の形態では $n=2$ である）分割面Sds2n+1面）から構成している。分割面Sd1～Sd5の境界は段差を設けてそれぞれの分割面Sd1～Sd5を形成している。この対物レンズ16において、光軸を含む第1分割面Sd1を通過する光束（第1光束）は第1光ディスクに記録された情報の再生及び第2光ディスクに記録された情報の再生に利用し、第2n分割面Sd2n（本実施の形態では、第2分割面Sd2と第4分割面Sd4）を通過する光束は主に第2光ディスクに記録された情報の再生に利用し、第2n+1分割面Sd2n+1（本実施の形態では、第3分割面Sd3と第5分割面

Sd5）を通過する光束は主に第1光ディスクに記録された情報の再生に利用するような形状となっている。

【0157】このように、本実施の形態では分割面の数を増やすことにより、第2n分割面を高NA側に配置することができるため、高NAが必要な第1の光ディスクの再生のみならず、第2の光ディスクとして、上述した第1～第3の実施の形態と比べて更に高NAの光ディスクの再生を行うことができる。しかも、第2n分割面を高NA側に配置したことに伴う第1光ディスク再生時の光量低下を第2n-1分割面（ただし、第1分割面は関係ない）で補うことができ、第1光ディスクのみならず第2光ディスクも良好に再生することができる。

【0158】具体的に、この対物レンズ16は、先ず、透明基板の厚さが t_1 の第1光ディスクに集光させた光束の最良波面収差が $0.05\lambda_{rms}$ 以下となるように第1屈折面S1の第1非球面と第2屈折面S2（共通屈折面）を設計する。そして、この第1非球面を有するレンズを介して透明基板の厚さが t_2 （ $t_2 \neq t_1$ ）の第2光ディスクに集光させた時の球面収差の発生量よりも、少ない球面収差となるように第2屈折面S2（共通屈折面）はそのまま第1屈折面の第2非球面を設計する。このとき、第2非球面の近軸曲率半径と第1非球面の近軸曲率半径とは同じにすることが、デフォーカス状態で再生を行う第2光ディスクの再生を良好に行うために好ましい。この第1非球面の第2光ディスクの必要開口数NA2近傍の2カ所であるNAL～NAHに、第2非球面を合成する。このようにして得られたレンズが本実施の形態の対物レンズ16となる。

【0159】なお、合成する場合、第2分割面Sd2と第4分割面Sd4とを光軸方向にずらして合成して、位相差を利用することにより、第1光ディスク再生時の集光光量のアップを図ることができる。また、第2分割面Sd2と第4分割面Sd4とを同じ第2非球面としたが、これらが互いに異なる非球面を用いてもよく、また、光軸方向にずらす量も各々変えてもよい。

【0160】ここで、第2非球面を合成するNA2近傍とは、 $0.60(NA2) < NA3 < 1.3(NA2)$ の条件（この下限 $0.60(NA2)$ は実用上、 $0.80(NA2)$ が好ましく、さらに $0.85(NA2)$ であることが好ましく、また、この上限 $1.3(NA2)$ は実用上 $1.1(NA2)$ であることが好ましい。また、この上限 $1.3(NA2)$ は、第2光ディスク情報記録媒体を記録又は再生する際の光源の波長が740nm～870nmである場合、 $1.1(NA2)$ とする）を満たすとともに、 $0.01 < NA4 - NA3 < 0.12$ （この上限 0.12 は、実用上、 0.1 であることが更に好ましい）の条件を満たす、対物レンズ16の光ディスク側の開口数NA3とNA4との間であることが好ましい。

【0161】このような本実施の形態の場合、第1の実

施の形態と同様に、第1の光ディスクである透明基板の厚さ t_1 が0.6mmのDVDを再生する際には、第1分割面Sd1及び第3分割面Sd3、第5分割面Sd5を通過する光束は、ほぼ同一の第1結像位置に結像し、その波面収差（第2分割面Sd2及び第4分割面Sd4を通過する光束を除いた波面収差）は、 $0.05\lambda_{rms}$ 以下となっている。ここで、 λ は光源の波長である。

【0162】このとき、第2分割面Sd2及び第4分割面Sd4を通過する光束は、第1結像位置とは異なった第2結像位置に結像する。この第2結像位置は、第1結像位置を0（零）としてそれより対物レンズ16側を負、その反対側を正とすると、第1結像位置から $-27\mu m$ 以上 $-4\mu m$ 以下の距離にする。なお、本実施の形態では、 $t_1 < t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ であるので、第2結像位置を第1結像位置から $-27\mu m \sim -4\mu m$ としたが、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、第2結像位置を第1結像位置から $4\mu m \sim 27\mu m$ にする。すなわち、第1結像位置と第2結像位置との距離の絶対値は $4\mu m$ 以上 $27\mu m$ 以下の範囲内になるようにする。

【0163】また、この対物レンズ16を球面収差の観点から見ると、開口数 NA_2 の近傍の4つの開口位置で、透明基板の厚さが異なる複数の光ディスクを1つの集光光学系で再生できるように、球面収差が不連続に変化するように構成している。このように球面収差が不連続に変化（変化の方向は、上述した第1～3の実施の形態と同じである）しており、また、波面収差の観点から見ると、開口数 NA_2 近傍の4カ所で波面収差が不連続となり、この不連続の各々の部分の波面収差の傾きは、不連続となっている部分の両側の曲線の端部を結ぶ曲線の傾きは、異なる傾きとなっている。

【0164】このような本実施の形態の対物レンズ16では、第2光ディスクの再生時（ t_2 の厚さの透明基板を介した際）に、開口数 NA_L から開口数 NA_H の間の球面収差が、 $-2\lambda / (NA_2)^2$ 以上、 $5\lambda / (NA_2)^2$ 以下の条件を満たすことが好ましい（ただし、このときの λ は、第2光ディスクの再生時に使用する光源の波長である）。さらに、この条件は、再生の場合は $3\lambda / (NA_2)^2$ 以下が好ましく、あるいは、記録をも考慮すると（勿論、再生もできる）0（零）より大きいことが好ましい。

【0165】一方、本実施の形態では、光軸と直交する方向で第2n分割面（第2分割面Sd2あるいは第4分割面）中央位置でみたとき、第2n分割面の法線と光軸とのなす角度が、第（2n-1）分割面（第1分割面Sd1あるいは第3分割面Sd3）及び第（2n+1）分割面（第3分割面Sd3あるいは第5分割面Sd5）から内挿される面の法線と光軸とのなす角度より大きくする。これにより第1光ディスク及び第2光ディスクの双方を良好に再生することが可能となる。なお、本実施の形態では、 $t_2 > t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ であるので、第

2n分割面の法線と光軸とのなす角度が、第（2n-1）分割面及び第（2n+1）分割面から内挿される面の法線と光軸とのなす角度より大としたが、 $t_2 < t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、小とすればよい。

【0166】また／さらにまた、光軸と直交する方向で第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4である第2n分割面（ただし、nは自然数）のほぼ中央位置でみたとき、第2n分割面の法線と光軸とのなす角度と、第（2n-1）分割面及び第（2n+1）分割面から内挿される面（数1の非球面の式を用いて最小自乗法でフィッティングを行った非球面）の法線と光軸とのなす角度との差が、 0.02° 以上 1° 以下の範囲となるように、第1分割面Sd1～第（2n+1）分割面を設定することが好ましい。

【0167】また、上述した各実施の形態と同様に、別の観点から本実施の形態を捕らえると、少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数に分割された複数の分割面（本実施の形態では5つの分割面）を有する対物レンズ16において、第2n分割面（ただし、nは1以上の整数）より光軸側の第（2n-1）分割面を透過した光と、第2n分割面より光軸側とは反対側の第（2n+1）分割面を透過した光とが、所定の厚さ（第1光ディスク）の透明基板を介して、ほぼ同じ位相となるようにしたとき、第（2n-1）分割面（例えば、第1分割面Sd1又は第3分割面Sd3）を透過し透明基板を介した光と、第2n分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）のほぼ中央位置より光軸側の第2n分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）を透過し透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta nL)\pi$ （例えば、 $(\Delta 1L)\pi$ 又は $(\Delta 2L)\pi$ ）（rad）とし、第（2n+1）分割面（例えば、第3分割面Sd3又は第5分割面Sd5）を透過し透明基板を介した光と、前記中央位置より光軸側とは反対側の第2n分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）を透過し透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta nH)\pi$ （例えば、 $(\Delta 1H)\pi$ 又は $(\Delta 2H)\pi$ ）（rad）とすると、 $(\Delta nH) > (\Delta nL)$ を満足する。この場合も上述と同様に、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、 $(\Delta nH) < (\Delta nL)$ とする。したがって、 $(\Delta nH) \neq (\Delta nL)$ とする。

【0168】これを別な観点から言えば、第2n分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）の第（2n-1）分割面（例えば、第1分割面Sd1又は第3分割面Sd3）からの段差量より、第2n分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）の第（2n+1）分割面（例えば、第3分割面Sd3又は第5分割面Sd5）からの段差量の方が、大きい。この場合も上述と同様に、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、第2n分割面の第（2n-1）分割面からの段差量より、第2n分割面の第（2n+1）分割面からの

10

20

30

40

50

段差量の方が、小さくなる。さらに、光軸から所定の位置において、第 $(2n-1)$ 分割面と第 $(2n+1)$ 分割面と（例えば、第1分割面Sd1と第3分割面Sd3と又は第3分割面Sd3と第5分割面Sd5）から内挿される面の位置と、第 $2n$ 分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）の位置との差が、第2分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）のほぼ中央位置を中心として非対称になっていることが好ましい。さらに、この場合、光軸から離れるに従いその差が大きくなることが好ましい。

【0169】なお、本実施の形態において、対物レンズ16の光源側の屈折面S1を5分割したが、これに限られず、他の集光光学系の光学素子（例えば、コリメータレンズなど）に設けてもよく、あるいは、別途光学素子を設けてもよい。

【0170】また、本実施の形態では、第1分割面Sd1～第5分割面Sd5の境界に段差を設けたが、少なくとも一つの境界を段差を設けずに連続的に分割面を形成してもよい。また、分割面と分割面との境界は、屈曲させることなく、例えば所定のRで以て接続させてもよい。このRは意図的に設けたものであってもよく、また、意図的に設けたものでなくてもよい（この意図的に設けたものではない例として、対物レンズ16をプラスチック等で形成する場合に、金型を加工する上で形成される境界のRがある）。

【0171】また、本実施の形態では、光源側から対物レンズ16を見たときに、第2分割面Sd2及び第4分割面Sd4を光軸と同心円状の環形状で設けたが、これに限られず、途切れた環状で設けてもよい。また、第2分割面Sd2又は／及び第4分割面Sd4をホログラムやフレネルで構成してもよい。なお、第2分割面Sd2をホログラムで構成した場合、0次光と1次光とに分けた光束の一方を第1光ディスクの再生に利用し、他方を第2光ディスクの再生に利用する。このとき、第2光ディスクの再生に利用する光束の光量の方が、第1光ディスクの再生に利用する光束の光量より大きいことが好ましい。

【0172】また、本実施の形態において、第1光ディスクを再生する際（すなわち、厚さ t_1 の透明基板を介したとき）第1分割面Sd1及び第3分割面Sd3を通過する光束による最良波面収差が $0.05\lambda_{rms}$ （ただし、 λ （nm）は第1光ディスクを再生する際に使用する光源の波長）を満たすだけでなく、第2光ディスクを再生する際（すなわち、厚さ t_2 の透明基板を介したとき）第1分割面Sd1を通過する光束による最良波面収差が回折限界である $0.07\lambda_{rms}$ （ただし、 λ （nm）は第2光ディスクを再生する際に使用する光源の波長）を満たすことにより、第2光ディスクの再生信号を良好にすることができる。

【0173】以上、詳述した第1～4の実施の形態にお

いて、第1分割面を光軸を含む面としたが、光軸上のごく狭い領域の面は集光にはさほど影響を及ぼさないため、そのような集光には影響を与えない光軸上のごく狭い領域の面が平坦となっていたり、突起や凹みとなっていたりしてもよい。要は、NA2近傍に第2光ディスクの再生に利用する分割面を設ければよく、それより光軸側（すなわち光軸近傍）を第1分割面とすればよい。

【0174】また、以上の説明においては、光ディスクに記録された情報の再生のみについて説明したが、集光光学系（対物レンズ）によって集光する光スポットが重要である点で光ディスクへ情報を記録する場合についても同様であり、以上の実施の形態は有効に記録にも使えることは言うまでもない。

【0175】さらに、上述した第1～第4の実施の形態においては、フォーカスエラー信号のS字特性が良好になるという効果も奏する。

【0176】

【実施例】以下の実施例においては、本発明を対物レンズ16の光源側の屈折面に適用したものである。また、第1光ディスクとしてDVD（透明基板の厚さ $t_1 = 0.6\text{ mm}$ 、必要な開口数 $NA1 = 0.60$ （ $\lambda = 635\text{ nm}$ ））を用い、第2光ディスクとしてCD（透明基板の厚さ $t_2 = 1.2\text{ mm}$ 、必要な開口数 $NA2 = 0.366$ （ $\lambda = 635\text{ nm}$ ）あるいは $NA2 = 0.45$ （ $\lambda = 780\text{ nm}$ ））あるいはCD-R（透明基板の厚さ $t_2 = 1.2\text{ mm}$ 、必要な開口数 $NA2 = 0.50$ （ $\lambda = 780\text{ nm}$ ）（ただし、再生のみの場合は、 $NA2 = 0.45$ （ $\lambda = 780\text{ nm}$ ））を用いることにする。なお、以下の対物レンズ16の例においては、コリメータレンズ13は、設計を最適にすることにより対物レンズ16へは略無収差の平行光束を入射させることができるため、以下の例においては略無収差の平行光束を出射できるコリメータレンズ13を使用することを前提として、対物レンズ16へ光束が入射して以降の構成を示す。また、対物レンズ16の光源側の配置される絞りを第1面として、ここから順に第 i 番目のレンズ面の曲率半径を r_i 、DVD再生時の第 i 番目の面と第 $i+1$ 番目の面との間の距離を d_i （CD再生時は、 d_i' に記載がある場合はその数値に変わり、記載がない場合は d_i と同じである）、その間隔のレーザー光源の光束の波長での屈折率を n_i で表している。また、光学面に非球面を用いた場合は、上述した非球面の式に基づくものとする。

【0177】また、表4、7、8、11、14、15、18、19、22、23、26、27、30、31、34、35、38、39中の記載においては次のように行っている。なお、次における「 n 」は自然数である。

【0178】まず、NAL・NAHに続けて記載している（ ）内の数字は、分割面（例えば、NAL（2）は、第2分割面上でのNALの値を示している）を示し

ている。

【0179】また、 $H2nmid$ は、光軸と直交する方向で光軸から第 $2n$ 分割面の中央位置までの高さを示している。

【0180】また、 $\theta 2n-1, 2n+1, mid$ は、高さ $H2nmid$ における第 $(2n-1)$ 分割面及び第 $(2n+1)$ 分割面から内挿される面の法線と光軸とのなす角度を示している。さらに、 $\theta 2n-1, 2n+1, mid$ を詳細にいうと、第 $(2n-1)$ 分割面を第 $2n$ 分割面の方向に延長した面を想定し、その想定した面における光軸からの高さ $H2nmid$ における法線と光軸とのなす角度と、第 $(2n+1)$ 分割面を第 $2n$ 分割面の方向に延長した面を想定し、その想定した面における光軸からの高さ $H2nmid$ における法線と光軸とのなす角度との平均角度をいう。ここで、具体的に面を想定する場合には「数1」に示す非球面の式を参考にすればよい。

【0181】また、 $\theta 2n, mid$ は、高さ $H2nmid$ における第 $2n$ 分割面の法線と光軸とのなす角度を示している。

【0182】また、 $\Delta \theta 2n, mid$ は、 $\theta 2n, mid$ と $\theta 2n-1, 2n+1, mid$ との差を示している。

【0183】また、図9、13、18、22、27、32、37、42、47、52の(a)、-(b)の下側に記載した「defocus」とは、光ディスクの情報記

録面(所定の厚さ、屈折率の透明基板を介したとき)に幾何学的焦点位置に合致する対物レンズ16の位置を中心に、光源からの光束の進行方向を正とした場合における、最良の波面収差を得るために光軸方向に対物レンズ16を移動させる量(デフォーカス量)を示している。

【0184】(実施例1) 実施例1は、上述した第2の実施の形態の1光源の光ピックアップ装置10に搭載する対物レンズ16であって、第1分割面 $Sd1$ ~第3分割面 $Sd3$ の境界に段差を設けた対物レンズ16に本発明を適用した例である。

【0185】表2および表3に対物レンズの光学データを示す。

【0186】

【表2】

波長 λ		635nm		
焦点距離		3.36mm		
絞り径		$\Phi 4.04mm$		
対物レンズの横倍率		0		
i	ri	di	di'	ni
1	∞	0.000		1.0
2	2.114	2.200		1.5383
3	-7.963	1.757	1.377	1.0
4	∞	0.600	1.200	1.58

【0187】

【表3】

10

20

非球面データ			
第2面 (屈折面)	第1 非球面	0<H<1.212(第1分割面)	
		1.347≤H(第3分割面)	
		$\kappa=-0.88658$	
		$A1=0.51091 \times 10^{-2}$	P1=4.0
		$A2=0.27414 \times 10^{-3}$	P2=6.0
		$A3=0.11020 \times 10^{-4}$	P3=8.0
		$A4=-0.72311 \times 10^{-5}$	P4=10.0
	第2 非球面	1.212≤H<1.347(第2分割面)	
		$\kappa=-0.94120$	
		$A1=0.61109 \times 10^{-2}$	P1=4.0
		$A2=0.30854 \times 10^{-3}$	P2=6.0
		$A3=0.20160 \times 10^{-4}$	P3=8.0
		$A4=-0.81949 \times 10^{-5}$	P4=10.0
第3面 (屈折面)			$\kappa=-0.24879 \times 10^2$
			$A1=0.94269 \times 10^{-2}$
			$A2=-0.32152 \times 10^{-2}$
			$A3=0.53282 \times 10^{-3}$
			$A4=-0.37853 \times 10^{-4}$

【0188】なお、本実施例の対物レンズは、第1非球面が光軸と交わる位置と第2非球面が光軸と交わる位置とが同じである。

【0189】また、図8(a)に厚さ t_1 (=0.6mm)の透明基板を介したとき(以下、DVD再生時という)の球面収差図を、図8(b)に厚さ t_2 (=1.2mm)の透明基板を介したとき(以下、CD再生時という)の球面収差図を示している。また、図9(a)にDVD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカ

スした状態でみたときの波面収差図を、図9(b)にCD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を示している。また、表4には、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を示す。

【0190】

【表4】

高さ H	開口数	球面収差(mm)	
		DVD再生時	C D再生時
1.212	NAL(1)=0.3606	-0.15363×10^{-4}	0.15933×10^{-1}
	NAL(2)=0.3617	-0.10720×10^{-1}	0.53341×10^{-2}
1.374	NAH(2)=0.4024	-0.13510×10^{-1}	0.67388×10^{-2}
	NAH(3)=0.4008	-0.16412×10^{-4}	0.20059×10^{-1}
0.60NA2=0.60×0.366=0.220 1.3NA2=1.3×0.366=0.476 NAH-NAL=0.4024-0.3617=0.0407 $-2\lambda/(NA2)^2 = -2 \times 635\text{nm}/(0.366)^2 = -9.48 \mu\text{m}$ $5\lambda/(NA2)^2 = 5 \times 635\text{nm}/(0.366)^2 = 23.7 \mu\text{m}$ $H2_{\text{mid}} = (1.212 + 1.374)/2 = 1.280$ $\theta_{1,3,\text{mid}} = 33.69622^\circ$ $\theta_{2,\text{mid}} = 33.81796^\circ$ $\Delta\theta_{2,\text{mid}} = 33.81796 - 33.69622 = 0.12174^\circ$			

【0191】また、図10にDVD再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示し、図11にCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【0192】（実施例2）実施例2は、上述した第3の実施の形態の2つの光源（第1光源の波長 $\lambda_1 = 635$ nm、第2光源の波長 $\lambda_2 = 780$ nm）を用いた光ビ*

*ックアップ装置10に搭載する対物レンズ16であって、第1分割面Sd1～第3分割面Sd3の境界に段差を設けた対物レンズ16に本発明を適用した例である。

【0193】表5および表6に対物レンズの光学データを示す。

【0194】

【表5】

波長λ		635nm		780nm	
焦点距離		3.36mm		3.39mm	
絞り径		φ4.04mm			
対物レンズの検倍率		0			
i	ri	d i	d i'	n i	n i'
1	∞	0.000		1.0	1.0
2	2.114	2.200		1.5383	1.5337
3	-7.963	1.757	1.401	1.0	1.0
4	∞	0.600	1.200	1.58	1.58

【0195】

【表6】

非球面データ			
第2面 (屈折面)	第1 非球面	0<H<1.414(第1分割面)	
		1.549≤H(第3分割面)	
		$\kappa=-0.9770$	
		$A1=0.63761 \times 10^{-3}$	P1=3.0
		$A2=0.36688 \times 10^{-3}$	P2=4.0
		$A3=0.83511 \times 10^{-2}$	P3=5.0
		$A4=-0.37296 \times 10^{-2}$	P4=6.0
		$A5=0.46548 \times 10^{-3}$	P5=8.0
		$A6=-0.43124 \times 10^{-4}$	P6=10.0
	第2 非球面	1.414≤H<1.549(第2分割面)	
		$\kappa=-0.12982 \times 10$	
		$A1=0.79671 \times 10^{-2}$	P1=3.0
		$A2=-0.13978 \times 10^{-1}$	P2=4.0
		$A3=0.26968 \times 10^{-1}$	P3=5.0
		$A4=-0.11073 \times 10^{-1}$	P4=6.0
		$A5=0.10432 \times 10^{-2}$	P3=8.0
		$A6=-0.74338 \times 10^{-4}$	P4=10.0
	第3面 (屈折面)	$\kappa=-0.24914 \times 10^2$	
		$A1=0.13775 \times 10^{-2}$	P1=3.0
		$A2=-0.41269 \times 10^{-2}$	P2=4.0
		$A3=0.21236 \times 10^{-1}$	P3=5.0
		$A4=-0.13895 \times 10^{-1}$	P4=6.0
		$A5=0.16631 \times 10^{-2}$	P5=8.0
		$A6=-0.12138 \times 10^{-3}$	P6=10.0

【0196】なお、本実施例の対物レンズは、第1非球面が光軸と交わる位置と第2非球面が光軸と交わる位置とが同じである。また、表5の n_i' は、第2光源($\lambda_2=780\text{nm}$)における屈折率を示している。

【0197】また、図12(a)にDVD再生時の球面収差図を、図12(b)にCD再生時の球面収差図を示している。また、図13(a)にDVD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたとき

きの波面収差図を、図13(b)にCD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を示している。また、表7には、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を示す。

【0198】

【表7】

高さ H	DVD再生時		CD再生時	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差
1.414	NAL(1)=0.4207	0.24061×10^{-3}	NAL(1)=0.4172	0.2393×10^{-1}
	NAL(2)=0.4232	-0.20032×10^{-1}	NAL(2)=0.4197	0.37703×10^{-2}
1.549	NAH(2)=0.4642	-0.24054×10^{-1}	NAH(2)=0.4604	0.52181×10^{-2}
	NAH(3)=0.4608	0.60913×10^{-3}	NAH(3)=0.4571	0.2965×10^{-1}
0.60NA2=0.60×0.45=0.270 1.1NA2=1.1×0.45=0.495 NAH-NAL=0.4604-0.4197=0.0407 $-2(\lambda 2)/(NA2)^2 = -2 \times 780\text{nm}/(0.45)^2 = -7.70 \mu\text{m}$ $5(\lambda 2)/(NA2)^2 = 5 \times 780\text{nm}/(0.45)^2 = 19.26 \mu\text{m}$ $H2\text{mid}=(1.414+1.549)/2=1.482$ $\Theta 1,3,\text{mid}=38.62261^\circ$ $\Theta 2,\text{mid}=38.87220^\circ$ $\Delta \Theta 2,\text{mid}=38.87220-38.62261=0.24959^\circ$				

【0199】また、図14にDVD再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示し、図15にCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【0200】さらに、この実施の形態の対物レンズは、1つの光源（光源の波長 $\lambda 1 = 635\text{nm}$ ）を用いた光ピックアップ装置10に搭載しても、DVDのみならず*

*CDの再生が可能であった。このときのCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を図16に示す。また、この場合の、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を表8に示す。

【0201】

【表8】

高さ H	DVD再生時		CD再生時	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.414	NAL(1)=0.4207	0.24061×10^{-3}	NAL(1)=0.4207	0.22575×10^{-1}
	NAL(2)=0.4232	-0.20032×10^{-1}	NAL(2)=0.4232	0.25983×10^{-2}
1.549	NAH(2)=0.4642	-0.24054×10^{-1}	NAH(2)=0.4642	0.38067×10^{-2}
	NAH(3)=0.4608	0.60913×10^{-3}	NAH(3)=0.4608	0.28016×10^{-1}
0.60NA2=0.60×0.366=0.220 1.3NA2=1.3×0.366=0.476 NAH-NAL=0.4642-0.4232=0.0410 $-2(\lambda)/(NA2)^2 = -2 \times 635\text{nm}/(0.366)^2 = -9.48 \mu\text{m}$ $5(\lambda)/(NA2)^2 = 5 \times 635\text{nm}/(0.366)^2 = 23.7 \mu\text{m}$ $H2\text{mid}=(1.414+1.549)/2=1.482$ $\Theta 1,3,\text{mid}=38.62261^\circ$ $\Theta 2,\text{mid}=38.87220^\circ$ $\Delta \Theta 2,\text{mid}=38.87220-38.62261=0.24959^\circ$				

【0202】（実施例3）実施例3は、上述した第2の実施の形態の1光源の光ピックアップ装置10に搭載する対物レンズ16であって、第2分割面Sd2と第3分割面Sd3との境界に段差を設け、第1分割面Sd1と第2分割面Sd3との境界には段差を設けない対物レンズ16に本発明を適用した例である。

【0203】表9および表10に対物レンズの光学データを示す。

【0204】

【表9】

波長 λ	635nm			
焦点距離	3.36mm			
絞り径	$\Phi 4.04\text{mm}$			
対物レンズの横倍率	0			
i	ri	di	di'	ni
1	∞	0.000		1.0
2	2.114	2.2000		1.5383
3	-7.963	1.757	1.377	1.0
4	∞	0.600	1.200	1.58

*【0205】

【表10】

*10

非球面データ				
第2面 (屈折面)	第1 非球面	0<H<1.212(第1分割面)		
		1.347≤H(第3分割面)		
		κ=-0.88658		
		A1=0.51091×10 ⁻²		P1=4.0
		A2=0.27414×10 ⁻³		P2=6.0
		A3=0.11020×10 ⁻⁴		P3=8.0
		A4=-0.72311×10 ⁻⁵		P4=10.0
	第2 非球面	1.212≤H<1.347(第2分割面)		
		d2=2.200702		
		κ=-0.94120		
		A1=0.61109×10 ⁻²		P1=4.0
		A2=0.30854×10 ⁻³		P2=6.0
		A3=0.20160×10 ⁻⁴		P3=8.0
		A4=-0.81949×10 ⁻⁵		P4=10.0
第3面 (屈折面)	κ=-0.24879×10 ²			
	A1=0.94269×10 ⁻²		P1=4.0	
	A2=-0.32152×10 ⁻²		P2=6.0	
	A3=0.53282×10 ⁻³		P3=8.0	
	A4=-0.37853×10 ⁻⁴		P4=10.0	

【0206】なお、表10中の第2非球面の「d2=2.200702」とは、第2非球面(第2分割面)の形状を非球面形状式に従って光軸まで延長したときの光軸との交点と、第3面との光軸上の間隔を表している。

すなわち、この値にすることにより、第1分割面と第2分割面とが連続した面(段差を有さない)となる。

40

面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を、図18(b)にCD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を示している。また、表11には、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を示す。

【0208】

【表11】

高さ H	開口数	球面収差(mm)	
		DVD再生時	C D再生時
1.212	NAL(1)=0.3606	-0.15363×10^{-4}	0.15933×10^{-1}
	NAL(2)=0.3617	-0.11068×10^{-1}	0.49864×10^{-2}
1.374	NAH(2)=0.4024	-0.13857×10^{-1}	0.63914×10^{-2}
	NAH(3)=0.4008	-0.16412×10^{-4}	0.20059×10^{-1}
0.60NA2=0.60×0.366=0.220 1.3NA2=1.3×0.366=0.476 NAH-NAL=0.4024-0.3617=0.0407 $-2\lambda/(NA2)^2 = -2 \times 635\text{nm}/(0.366)^2 = -9.48\mu\text{m}$ $5\lambda/(NA2)^2 = 5 \times 635\text{nm}/(0.366)^2 = 23.7\mu\text{m}$ H2mid=(1.212+1.374)/2=1.280 $\theta_{1,3,\text{mid}}=33.69622^\circ$ $\theta_{2,\text{mid}}=33.81796^\circ$ $\Delta\theta_{2,\text{mid}}=33.81796-33.69622=0.12174^\circ$			

【0209】また、図19にDVD再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示し、図20にCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【0210】（実施例4）実施例4は、上述した第3の実施の形態の2つの光源（第1光源の波長 $\lambda_1=635\text{nm}$ 、第2光源の波長 $\lambda_2=780\text{nm}$ ）を用いた光ビ*

*ックアップ装置10に搭載する対物レンズ16であって、第1分割面Sd1～第3分割面Sd3の境界に段差を設けた対物レンズ16に本発明を適用した例である。

【0211】表12および表13に対物レンズの光学データを示す。

【0212】

【表12】

波長 λ				635nm	780nm
焦点距離				3.36mm	3.39mm
絞り径				$\phi 4.04\text{mm}$	
対物レンズの横倍率				0	
i	ri	di	dl	nl	nl
1	∞	0.000		1.0	1.0
2	2.114	2.200		1.5383	1.5337
3	-7.963	1.757	1.401	1.0	1.0
4	∞	0.600	1.200	1.58	1.58
5	∞				

【0213】

【表13】

非球面データ			
第2面 (屈折面)	第1 非球面	$0 \leq H < 1.397$	(第1分割面)
		$1.532 \leq H$	(第3分割面)
		$\kappa = -0.97700$	
		$A1 = 0.63761 \times 10^{-3}$	$P1 = 3.0$
		$A2 = 0.36688 \times 10^{-3}$	$P1 = 4.0$
		$A3 = 0.83511 \times 10^{-2}$	$P1 = 5.0$
		$A4 = -0.37296 \times 10^{-2}$	$P1 = 6.0$
		$A5 = 0.46548 \times 10^{-3}$	$P1 = 8.0$
		$A6 = -0.43124 \times 10^{-4}$	$P1 = 10.0$
	第2 非球面	$1.397 \leq H < 1.532$	(第2分割面)
		$d2 = 2.1996$	
		$\kappa = -0.11481 \times 10^{+1}$	
		$A1 = 0.70764 \times 10^{-2}$	$P1 = 3.0$
		$A2 = 0.13388 \times 10^{-1}$	$P1 = 4.0$
		$A3 = 0.24084 \times 10^{-1}$	$P1 = 5.0$
		$A4 = -0.97636 \times 10^{-2}$	$P1 = 6.0$
		$A5 = 0.93136 \times 10^{-3}$	$P1 = 8.0$
		$A6 = -0.68008 \times 10^{-4}$	$P1 = 10.0$
	第3面 (屈折面)	$\kappa = -0.24914 \times 10^{+2}$	
		$A1 = 0.13775 \times 10^{-2}$	$P1 = 3.0$
		$A2 = -0.41269 \times 10^{-2}$	$P1 = 4.0$
		$A3 = 0.21236 \times 10^{-1}$	$P1 = 5.0$
		$A4 = -0.13895 \times 10^{-1}$	$P1 = 6.0$
		$A5 = 0.16631 \times 10^{-2}$	$P1 = 8.0$
		$A6 = -0.12138 \times 10^{-3}$	$P1 = 10.0$

【0214】なお、表13中の第2非球面の「 $d2 = 2.1996$ 」とは、第2非球面(第2分割面)の形状を非球面形状式に従って光軸まで延長したときの光軸との交点と、第3面との光軸上の間隔を表している。これは、第2分割面を光軸方向に $d2$ だけずらすことにより位相差を設け、集光光量(ピーク強度)を上げるようにしている。また、表12の $n_{i'}$ は、第2光源($\lambda2 = 780\text{nm}$)における屈折率を示している。

【0215】また、図21(a)にDVD再生時の球面収差図を、図21(b)にCD再生時の球面収差図を示 40

している。また、図22(a)にDVD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を、図22(b)にCD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を示している。また、表14には、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を示す。

【0216】

【表14】

高さ H	DVD時		CD時	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.397	NAL(1)=0.4156	0.16787×10^{-3}	NAL(1)=0.4122	0.23237×10^{-1}
	NAL(2)=0.4176	-0.15961×10^{-1}	NAL(2)=0.4142	0.71899×10^{-2}
1.532	NAH(2)=0.4584	-0.19079×10^{-1}	NAH(2)=0.4547	0.94214×10^{-2}
	NAH(3)=0.4558	0.59045×10^{-3}	NAH(3)=0.4521	0.28918×10^{-1}
$0.60NA2=0.60 \times 0.45=0.270$ $1.1NA2=1.1 \times 0.45=0.495$ $NAH-NAI=0.4547-0.4142=0.0405$ $-2(\lambda/2)/(NA2)^2=-2 \times 780nm/(0.45)^2=-7.70 \mu m$ $5(\lambda/2)/(NA2)^2=5 \times 780nm/(0.45)^2=19.26 \mu m$ $H2mid=(1.397+1.532)/2=1.465$ $\theta 1,3, mid=38.21395^\circ$ $\theta 2, mid=38.41159^\circ$ $\Delta \theta 2, mid=38.41159-38.21395=0.19764^\circ$				

【0217】また、図23にDVD再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示し、図24にCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【0218】さらに、この実施の形態の対物レンズは、1つの光源（光源の波長 $\lambda_1=635nm$ ）を用いた光ピックアップ装置10に搭載しても、DVDのみならず*

$\lambda=635nm$

高さ H	DVD時		CD時	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.397	NAL(1)=0.4156	0.16787×10^{-3}	NAL(1)=0.4156	0.21913×10^{-1}
	NAL(2)=0.4176	-0.15961×10^{-1}	NAL(2)=0.4176	0.60126×10^{-2}
1.532	NAH(2)=0.4584	-0.19079×10^{-1}	NAH(2)=0.4584	0.80011×10^{-2}
	NAH(3)=0.4558	0.59045×10^{-3}	NAH(3)=0.4558	0.27319×10^{-1}
$0.60NA2=0.60 \times 0.366=0.220$ $1.3NA2=1.3 \times 0.366=0.476$ $NAH-NAI=0.4584-0.4176=0.0408$ $-2(\lambda/2)/(NA2)^2=-2 \times 635nm/(0.366)^2=-9.48 \mu m$ $5(\lambda/2)/(NA2)^2=5 \times 635nm/(0.366)^2=23.7 \mu m$ $H2mid=(1.397+1.532)/2=1.465$ $\theta 1,3, mid=38.21395^\circ$ $\theta 2, mid=38.41159^\circ$ $\Delta \theta 2, mid=38.41159-38.21395=0.19764^\circ$				

【0220】（実施例5）実施例5は、上述した第3の実施の形態の2つの光源（第1光源の波長 $\lambda_1=635nm$ 、第2光源の波長 $\lambda_2=780nm$ ）を用いた光ピックアップ装置10に搭載する対物レンズ16であって、第1分割面Sd1～第3分割面Sd3の境界に段差を設けた対物レンズ16に本発明を適用した例である。なお、本実施例においては、第2光ディスクとしてCD

*CDの再生が可能であった。このときのCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を図25に示す。また、この場合の、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を表15に示す。

【0219】

【表15】

—Rを想定したものである。そのため $NA2=0.5$ として示している。

【0221】表16および表17に対物レンズの光学データを示す。

【0222】

【表16】

波長 λ				635nm	780nm
焦点距離				3.36mm	3.39mm
絞り径				ϕ 4.04mm	
対物レンズの横倍率				0	
l	rl	dl	dl'	ni	nl'
1	∞	0.000		1.0	1.0
2	2.114	2.200		1.5383	1.5337
3	-7.963	1.757	1.401	1.0	1.0
4	∞	0.600	1.200	1.58	1.58
5	∞				

【0223】

* * 【表17】

非球面データ			
第2面 (屈折面)	第1 非球面	$0 \leq H < 1.515$	(第1分割面)
		$1.751 \leq H$	(第3分割面)
		$\kappa = -0.97700$	
		$A1 = 0.63761 \times 10^{-3}$	P1=3.0
		$A2 = 0.36688 \times 10^{-3}$	P1=4.0
		$A3 = 0.83511 \times 10^{-2}$	P1=5.0
		$A4 = -0.37296 \times 10^{-2}$	P1=6.0
		$A5 = 0.46548 \times 10^{-3}$	P1=8.0
		$A6 = -0.43124 \times 10^{-4}$	P1=10.0
	第2 非球面	$1.515 \leq H < 1.751$	(第2分割面)
		$\kappa = -0.11481 \times 10^{+1}$	
		$A1 = 0.70764 \times 10^{-2}$	P1=3.0
		$A2 = 0.13388 \times 10^{-1}$	P1=4.0
		$A3 = 0.24084 \times 10^{-1}$	P1=5.0
		$A4 = -0.97636 \times 10^{-2}$	P1=6.0
		$A5 = 0.93136 \times 10^{-3}$	P1=8.0
		$A6 = -0.68008 \times 10^{-4}$	P1=10.0
	第3面 (屈折面)	$\kappa = -0.24914 \times 10^{+2}$	
		$A1 = 0.13775 \times 10^{-2}$	P1=3.0
		$A2 = -0.41269 \times 10^{-2}$	P1=4.0
		$A3 = 0.21236 \times 10^{-1}$	P1=5.0
		$A4 = -0.13895 \times 10^{-1}$	P1=6.0
		$A5 = 0.16631 \times 10^{-2}$	P1=8.0
		$A6 = -0.12138 \times 10^{-3}$	P1=10.0

【0224】なお、本実施例の対物レンズは、第1非球面が光軸と交わる位置と第2非球面が光軸と交わる位置とが同じである。また、表16の ni' は、第2光源($\lambda = 780\text{nm}$)における屈折率を示している。

【0225】また、図26(a)にDVD再生時の球面収差図を、図26(b)にCD-R再生時の球面収差図を示している。また、図27(a)にDVD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態のみ

たときの波面収差図を、図27(b)にCD-R再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態のみみたときの波面収差図を示している。また、表18には、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を示す。

【0226】

【表18】

高さ H	DVD時		CD-R時	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.515	NAL(1)=0.4507	0.56250×10^{-3}	NAL(1)=0.4470	0.28187×10^{-1}
	NAL(2)=0.4532	-0.18638×10^{-1}	NAL(2)=0.4496	0.91439×10^{-2}
1.751	NAH(2)=0.5253	-0.26720×10^{-1}	NAH(2)=0.5211	0.12335×10^{-1}
	NAH(3)=0.5212	0.22836×10^{-3}	NAH(3)=0.5170	0.38838×10^{-1}
$0.60NA2=0.60 \times 0.50=0.300$ $1.1NA2=1.1 \times 0.50=0.550$ $NAH-NAL=0.5211-0.4496=0.0715$ $-2(\lambda 2)/(NA2)^2=-2 \times 780nm/(0.50)^2=-6.24 \mu m$ $5(\lambda 2)/(NA2)^2=5 \times 780nm/(0.50)^2=15.6 \mu m$ $H2mid=(1.515+1.751)/2=1.633$ $\theta 1,3,mid=42.17430^\circ$ $\theta 2,mid=42.44207^\circ$ $\Delta \theta 2,mid=42.44207-42.17430=0.26777^\circ$				

【0227】また、図28にDVD再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示し、図29にCD-R再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【0228】さらに、この実施の形態の対物レンズは、1つの光源（光源の波長 $\lambda 1=635nm$ ）を用いた光ピックアップ装置10に搭載しても、DVDのみならず*

*CDの再生が可能であった。このときのCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を図30に示す。また、この場合の、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を表19に示す。

【0229】

【表19】

高さ H	DVD時		CD再生時	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.515	NAL(1)=0.4507	0.56250×10^{-3}	NAL(1)=0.4507	0.26624×10^{-1}
	NAL(2)=0.4532	-0.18638×10^{-1}	NAL(2)=0.4532	0.77566×10^{-2}
1.751	NAH(2)=0.5253	-0.26720×10^{-1}	NAH(2)=0.5253	0.10403×10^{-1}
	NAH(3)=0.5212	0.22836×10^{-3}	NAH(3)=0.5212	0.36667×10^{-1}
$0.60NA2=0.60 \times 0.366=0.220$ $1.3NA2=1.3 \times 0.366=0.476$ $NAH-NAL=0.5253-0.4532=0.0721$ $-2(\lambda 2)/(NA2)^2=-2 \times 635nm/(0.366)^2=-9.48 \mu m$ $5(\lambda 2)/(NA2)^2=5 \times 635nm/(0.366)^2=23.7 \mu m$ $H2mid=(1.515+1.751)/2=1.633$ $\theta 1,3,mid=42.17430^\circ$ $\theta 2,mid=42.44207^\circ$ $\Delta \theta 2,mid=42.44207-42.17430=0.26777^\circ$				

【0230】（実施例6）実施例6は、上述した第3の実施の形態の2つの光源（第1光源の波長 $\lambda 1=635nm$ 、第2光源の波長 $\lambda 2=780nm$ ）を用いた光ピックアップ装置10に搭載する対物レンズ16であって、第4の実施の形態において示した対物レンズ16、すなわち、第1分割面Sd1～第5分割面Sd5の境界に段差を設けた対物レンズ16を搭載した例である。な

お、本実施例においては、第2光ディスクとしてCD-Rを想定したものである。そのために、 $NA2=0.5$ として示している。

【0231】表20および表21に対物レンズの光学データを示す。

【0232】

【表20】

波長 λ				635nm	780nm
焦点距離				3.36mm	3.39mm
絞り経				ϕ 4.04mm	
対物レンズの横倍率				0	
i	ri	di	di'	ni	ni'
1	∞	0.000		1.0	1.0
2	2.114	2.200		1.5383	1.5337
3	-7.963	1.757	1.401	1.0	1.0
4	∞	0.600	1.200	1.58	1.58
5	∞				

【0233】

* * 【表21】

非球面データ			
第2面 (屈折面)	第1 非球面	$0 \leq H < 1.481$	(第1分割面)
		$1.549 \leq H < 1.700$	(第3分割面)
		$1.784 \leq H$	(第5分割面)
		$\kappa = -0.97700$	
		$A1 = 0.63761 \times 10^{-3}$	P1=3.0
		$A2 = 0.36688 \times 10^{-3}$	P1=4.0
		$A3 = 0.83511 \times 10^{-2}$	P1=5.0
		$A4 = -0.37296 \times 10^{-2}$	P1=6.0
		$A5 = 0.46548 \times 10^{-3}$	P1=8.0
		$A6 = -0.43124 \times 10^{-4}$	P1=10.0
	第2 非球面	$1.481 \leq H < 1.549$	(第2分割面)
		$1.700 \leq H < 1.784$	(第4分割面)
		$\kappa = -0.11481 \times 10^{+1}$	
		$A1 = 0.70764 \times 10^{-2}$	P1=3.0
		$A2 = 0.13388 \times 10^{-1}$	P1=4.0
		$A3 = 0.24084 \times 10^{-1}$	P1=5.0
		$A4 = -0.97636 \times 10^{-2}$	P1=6.0
		$A5 = 0.93136 \times 10^{-3}$	P1=8.0
		$A6 = -0.68008 \times 10^{-4}$	P1=10.0
	第3面 (屈折面)	$\kappa = -0.24914 \times 10^{+2}$	
		$A1 = 0.13775 \times 10^{-2}$	P1=3.0
		$A2 = -0.41269 \times 10^{-2}$	P1=4.0
		$A3 = 0.21236 \times 10^{-1}$	P1=5.0
		$A4 = -0.13895 \times 10^{-1}$	P1=6.0
		$A5 = 0.16631 \times 10^{-2}$	P1=8.0
		$A6 = -0.12138 \times 10^{-3}$	P1=10.0

【0234】なお、本実施例の対物レンズは、第1非球面（第1分割面Sd1と第3分割面Sd3と第5分割面Sd5の面（あるいは該面を延長した面）が光軸と交わる位置と第2分割面Sd2と第4分割面Sd4それぞれの分割面を延長した面（共に第2非球面を合成）が光軸と交わる位置とが同じである。また、表20のni'は、第2光源（ $\lambda_2 = 780\text{nm}$ ）における屈折率を示

している。

【0235】また、図31(a)にDVD再生時の球面収差図を、図31(b)にCD-R再生時の球面収差図を示している。また、図32(a)にDVD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を、図32(b)にCD-R再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態

でみたときの波面収差図を示している。また、表 2 2 に * 【 0 2 3 6 】
は、NAL および NAH の開口数、球面収差の発生量、 【表 2 2】
法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を示す。 *

高さ H	DVD 時		CD-R 時	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.481	NAL(1)=0.4406	0.48121×10^{-3}	NAL(1)=0.4370	0.26737×10^{-1}
	NAL(2)=0.4430	-0.17798×10^{-1}	NAL(2)=0.4393	0.85891×10^{-2}
1.549	NAH(2)=0.4636	-0.19553×10^{-1}	NAH(2)=0.4598	0.96765×10^{-2}
	NAH(3)=0.4608	0.60932×10^{-3}	NAH(3)=0.4571	0.29652×10^{-1}
1.700	NAL(3)=0.5059	0.39402×10^{-3}	NAL(3)=0.5018	0.36389×10^{-1}
	NAL(4)=0.5096	-0.24649×10^{-1}	NAL(4)=0.5055	0.11709×10^{-1}
1.784	NAH(4)=0.5354	-0.28119×10^{-1}	NAH(4)=0.5312	0.12767×10^{-1}
	NAH(5)=0.5310	0.13146×10^{-3}	NAH(5)=0.5268	0.40512×10^{-1}
0.60NA2=0.60×0.50=0.300 1.1NA2=1.1×0.50=0.550 NAH(4)-NAL(2)=0.5312-0.4393=0.0919 $-2(\lambda/2)/(NA2)^2 = -2 \times 780\text{nm}/(0.50)^2 = -6.24 \mu\text{m}$ $5(\lambda/2)/(NA2)^2 = 5 \times 780\text{nm}/(0.50)^2 = 15.6 \mu\text{m}$ $H2\text{mid} = (1.481+1.549)/2 = 1.515$ $\Theta 1,3,\text{mid} = 39.41130^\circ$ $\Theta 2,\text{mid} = 39.62807^\circ$ $\Delta \Theta 2,\text{mid} = \Theta 1,3,\text{mid} - \Theta 2\text{mid} = 39.62807 - 39.41130 = 0.21677^\circ$ $H4\text{mid} = (1.700+1.784)/2 = 1.742$ $\Theta 3,5,\text{mid} = 44.62556^\circ$ $\Theta 4,\text{mid} = 44.94902^\circ$ $\Delta \Theta 4,\text{mid} = \Theta 3,5,\text{mid} - \Theta 4\text{mid} = 44.94902 - 44.62556 = 0.32346^\circ$				

【 0 2 3 7 】 また、図 3 3 に DVD 再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示し、図 3 4 に CD-R 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【 0 2 3 8 】 さらに、この実施の形態の対物レンズは、1つの光源（光源の波長 $\lambda 1 = 635\text{nm}$ ）を用いた光ピックアップ装置 10 に搭載しても、DVDのみならず

CDの再生が可能であった。このときのCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を図 3 5 に示す。また、この場合の、NAL および NAH の開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を表 2 3 に示す。

30

【 0 2 3 9 】
【表 2 3】

高さ H	DVD 時		CD 再生時	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.481	NAL(1)=0.4406	0.48121×10^{-3}	NAL(1)=0.4406	0.25244×10^{-1}
	NAL(2)=0.4430	-0.17798×10^{-1}	NAL(2)=0.4430	0.72646×10^{-2}
1.549	NAH(2)=0.4636	-0.19553×10^{-1}	NAH(2)=0.4636	0.82240×10^{-2}
	NAH(3)=0.4608	0.60932×10^{-3}	NAH(3)=0.4608	0.28016×10^{-1}
1.700	NAL(3)=0.5059	0.39402×10^{-3}	NAL(3)=0.5059	0.34375×10^{-1}
	NAL(4)=0.5096	-0.24649×10^{-1}	NAL(4)=0.5096	0.99199×10^{-2}
1.784	NAH(4)=0.5354	-0.28119×10^{-1}	NAH(4)=0.5354	0.10732×10^{-1}
	NAH(5)=0.5310	0.13146×10^{-3}	NAH(5)=0.5310	0.38227×10^{-1}
$0.60NA2=0.60 \times 0.366=0.220$ $1.3NA2=1.3 \times 0.366=0.476$ $NAH(4)-NAL(2)=0.5354-0.4430=0.0924$ $-2(\lambda 2)/(NA2)^2=-2 \times 635nm/(0.366)^2=-9.48 \mu m$ $5(\lambda 2)/(NA2)^2=5 \times 635nm/(0.366)^2=23.7 \mu m$ $H2mid=(1.481+1.549)/2=1.515$ $\Theta 1,3,mid=39.41130^\circ$ $\Theta 2,mid=39.62807^\circ$ $\Delta \Theta 2,mid=\Theta 1,3,mid-\Theta 2mid=39.62807-39.41130=0.21677^\circ$ $H4mid=(1.700+1.784)/2=1.742$ $\Theta 3,5,mid=44.62556^\circ$ $\Theta 4,mid=44.94902^\circ$ $\Delta \Theta 4,mid=\Theta 3,5,mid-\Theta 4mid=44.94902-44.62556=0.32346^\circ$				

【0240】（実施例7）実施例7は、上述した第3の実施の形態の2つの光源（第1光源の波長 $\lambda 1=635$ nm、第2光源の波長 $\lambda 2=780$ nm）を用いた光ピックアップ装置10に搭載する対物レンズ16であって、第4の実施の形態において示した対物レンズ16、すなわち、第1分割面Sd1～第5分割面Sd5の境界に段差を設けた対物レンズ16を搭載した例である。な*

*お、本実施例においては、第2光ディスクとしてCD-Rを想定したものである。そのために、 $NA2=0.5$ として示している。

【0241】表24および表25に対物レンズの光学データを示す。

【0242】

【表24】

波長 λ				635nm	780nm
焦点距離				3.36mm	3.39mm
絞り径				$\phi 4.04mm$	
対物レンズの横倍率				0	
i	ri	di	di'	ni	ni'
1	∞	0.000		1.0	1.0
2	2.114	2.200		1.5383	1.5337
3	-7.963	1.757	1.401	1.0	1.0
4	∞	0.600	1.200	1.58	1.58
5	∞				

【0243】

【表25】

非球面データ			
第2面 (屈折面)	第1 非球面	$0 \leq H < 1.481$	(第1分割面)
		$1.549 \leq H < 1.700$	(第3分割面)
		$1.784 \leq H$	(第5分割面)
		$\kappa = -0.97700$	
		$A1 = 0.63761 \times 10^{-3}$	$P1 = 3.0$
		$A2 = 0.36688 \times 10^{-3}$	$P1 = 4.0$
		$A3 = 0.83511 \times 10^{-2}$	$P1 = 5.0$
		$A4 = -0.37296 \times 10^{-2}$	$P1 = 6.0$
		$A5 = 0.46548 \times 10^{-3}$	$P1 = 8.0$
		$A6 = -0.43124 \times 10^{-4}$	$P1 = 10.0$
	第2 非球面	$1.481 \leq H < 1.549$	(第2分割面)
		$1.700 \leq H < 1.784$	(第4分割面)
		$d2 = 2.1996$	
		$d4 = 2.2003$	
		$\kappa = -0.11481 \times 10^{-1}$	
		$A1 = 0.70764 \times 10^{-2}$	$P1 = 3.0$
		$A2 = 0.13388 \times 10^{-1}$	$P1 = 4.0$
		$A3 = 0.24084 \times 10^{-1}$	$P1 = 5.0$
		$A4 = -0.97636 \times 10^{-2}$	$P1 = 6.0$
		$A5 = 0.93136 \times 10^{-3}$	$P1 = 8.0$
		$A6 = -0.68008 \times 10^{-4}$	$P1 = 10.0$
	第3面 (屈折面)	$\kappa = -0.24914 \times 10^{-2}$	
		$A1 = 0.13775 \times 10^{-2}$	$P1 = 3.0$
		$A2 = -0.41269 \times 10^{-2}$	$P1 = 4.0$
		$A3 = 0.21236 \times 10^{-1}$	$P1 = 5.0$
		$A4 = -0.13895 \times 10^{-1}$	$P1 = 6.0$
		$A5 = 0.16631 \times 10^{-2}$	$P1 = 8.0$
		$A6 = -0.12138 \times 10^{-3}$	$P1 = 10.0$

【0244】なお、表25中の第2非球面の「 $d2 = 2.1996$ 」及び「 $d4 = 2.2003$ 」とは、それぞれ第2分割面及び第4分割面（共に第2非球面）の形状を非球面形状式に従って光軸まで延長したときの光軸との交点と、第3面との光軸上の間隔を表している。これは、第2分割面を光軸方向に $d2$ だけずらし、また、第4分割面を光軸方向に $d4$ だけずらすことにより位相差を設け、集光光量（ピーク強度）を上げるようにしている。また、表24の $n_{i'}$ は、第2光源（ $\lambda_2 = 780\text{nm}$ ）における屈折率を示している。

【0245】また、図36（a）にDVD再生時の球面

収差図を、図36（b）にCD-R再生時の球面収差図を示している。また、図37（a）にDVD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を、図37（b）にCD-R再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を示している。また、表26には、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を示す。

【0246】

【表26】

高さ H	DVD 時		CD-R 時	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.481	NAL(1)=0.4406	0.48121×10^{-3}	NAL(1)=0.4370	0.26737×10^{-1}
	NAL(2)=0.4430	-0.17794×10^{-1}	NAL(2)=0.4393	0.85936×10^{-2}
1.549	NAH(2)=0.4636	-0.19550×10^{-1}	NAH(2)=0.4598	0.96802×10^{-2}
	NAH(3)=0.4608	0.60932×10^{-3}	NAH(3)=0.4571	0.29652×10^{-1}
1.700	NAL(3)=0.5059	0.39402×10^{-3}	NAL(3)=0.5018	0.36389×10^{-1}
	NAL(4)=0.5096	-0.24648×10^{-1}	NAL(4)=0.5055	0.11708×10^{-1}
1.784	NAH(4)=0.5354	-0.28114×10^{-1}	NAH(4)=0.5312	0.12771×10^{-1}
	NAH(5)=0.5310	0.13146×10^{-3}	NAH(5)=0.5268	0.40512×10^{-1}
0.60NA2=0.60×0.50=0.300 1.1NA2=1.1×0.50=0.550 NAH(4)-NAL(2)=0.5312-0.4393=0.0919 $-2(\lambda 2)/(NA2)^2 = -2 \times 780\text{nm}/(0.50)^2 = -6.24 \mu\text{m}$ $5(\lambda 2)/(NA2)^2 = 5 \times 780\text{nm}/(0.50)^2 = 15.6 \mu\text{m}$ $H2\text{mid}=(1.481+1.549)/2=1.515$ $\Theta 1,3,\text{mid}=39.41130^\circ$ $\Theta 2,\text{mid}=39.62807^\circ$ $\Delta \Theta 2,\text{mid}=\Theta 1,3,\text{mid}-\Theta 2,\text{mid}=39.62807-39.41130=0.21677^\circ$ $H4\text{mid}=(1.700+1.784)/2=1.742$ $\Theta 3,5,\text{mid}=44.62556^\circ$ $\Theta 4,\text{mid}=44.94902^\circ$ $\Delta \Theta 4,\text{mid}=\Theta 3,5,\text{mid}-\Theta 4,\text{mid}=44.94902-44.62556=0.32346^\circ$				

【0247】また、図38にDVD再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示し、図39にCD-R再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【0248】さらに、この実施の形態の対物レンズは、1つの光源（光源の波長 $\lambda 1=635\text{nm}$ ）を用いた光ピックアップ装置10に搭載しても、DVDのみならず 30

CDの再生が可能であった。このときのCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を図40に示す。また、この場合の、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を表27に示す。

【0249】

【表27】

高さ H	DVD時		CD再生時	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.481	NAL(1)=0.4406	0.48121×10^{-3}	NAL(1)=0.4406	0.25244×10^{-1}
	NAL(2)=0.4430	-0.17794×10^{-1}	NAL(2)=0.4430	0.72688×10^{-2}
1.549	NAH(2)=0.4636	-0.19550×10^{-1}	NAH(2)=0.4636	0.82274×10^{-2}
	NAH(3)=0.4608	0.60932×10^{-3}	NAH(3)=0.4608	0.28016×10^{-1}
1.700	NAL(3)=0.5059	0.39402×10^{-3}	NAL(3)=0.5059	0.34375×10^{-1}
	NAL(4)=0.5096	-0.24648×10^{-1}	NAL(4)=0.5096	0.99201×10^{-2}
1.784	NAH(4)=0.5354	-0.28114×10^{-1}	NAH(4)=0.5354	0.10737×10^{-1}
	NAH(5)=0.5310	0.13146×10^{-3}	NAH(5)=0.5310	0.38227×10^{-1}
0.60NA2=0.60×0.366=0.220 1.3NA2=1.3×0.366=0.476 NAH(4)-NAL(2)=0.5354-0.4430=0.0924 $-2(\lambda_2)/(NA2)^2 = -2 \times 635\text{nm}/(0.366)^2 = -9.48 \mu\text{m}$ $5(\lambda_2)/(NA2)^2 = 5 \times 635\text{nm}/(0.366)^2 = 23.7 \mu\text{m}$ $H2\text{mid} = (1.481+1.549)/2 = 1.515$ $\Theta_{1,3,\text{mid}} = 39.41130^\circ$ $\Theta_{2,\text{mid}} = 39.62807^\circ$ $\Delta \Theta_{2,\text{mid}} = \Theta_{1,3,\text{mid}} - \Theta_{2,\text{mid}} = 39.62807 - 39.41130 = 0.21677^\circ$ $H4\text{mid} = (1.700+1.784)/2 = 1.742$ $\Theta_{3,5,\text{mid}} = 44.62556^\circ$ $\Theta_{4,\text{mid}} = 44.94902^\circ$ $\Delta \Theta_{4,\text{mid}} = \Theta_{3,5,\text{mid}} - \Theta_{4,\text{mid}} = 44.94902 - 44.62556 = 0.32346^\circ$				

【0250】（実施例8）実施例8は、上述した第3の実施の形態の2つの光源（第1光源の波長 $\lambda_1 = 635\text{nm}$ 、第2光源の波長 $\lambda_2 = 780\text{nm}$ ）を用いた光ピックアップ装置10に搭載する対物レンズ16であって、第1分割面Sd1～第3分割面Sd3の境界に段差*

*を設けた対物レンズ16に本発明を適用した例である。

【0251】表28および表29に対物レンズの光学データを示す。

【0252】

【表28】

波長 λ				635nm	780nm
焦点距離				3.36mm	3.39mm
絞り径				$\phi 4.04\text{mm}$	
対物レンズの横倍率				0	
l	rl	dl	dl'	ni	ni'
1	∞	0.000		1.0	1.0
2	2.114	2.200		1.5383	1.5337
3	-7.963	1.757	1.401	1.0	1.0
4	∞	0.600	1.200	1.58	1.58
5	∞				

【0253】

【表29】

非球面データ			
第2面 (屈折面)	第1 非球面	$0 \leq H < 1.279$ (第1分割面)	
		$1.532 \leq H$ (第3分割面)	
		$\kappa = -0.97700$	
		$A1 = 0.63761 \times 10^{-3}$	$P1 = 3.0$
		$A2 = 0.36688 \times 10^{-3}$	$P1 = 4.0$
		$A3 = 0.83511 \times 10^{-2}$	$P1 = 5.0$
		$A4 = -0.37296 \times 10^{-2}$	$P1 = 6.0$
		$A5 = 0.46548 \times 10^{-3}$	$P1 = 8.0$
		$A6 = -0.43124 \times 10^{-4}$	$P1 = 10.0$
	第2 非球面	$1.279 \leq H < 1.532$ (第2分割面)	
		$d2 = 2.1995$	
		$\kappa = -0.11481 \times 10^{+1}$	
		$A1 = 0.70764 \times 10^{-2}$	$P1 = 3.0$
		$A2 = 0.13388 \times 10^{-1}$	$P1 = 4.0$
		$A3 = 0.24084 \times 10^{-1}$	$P1 = 5.0$
		$A4 = -0.97636 \times 10^{-2}$	$P1 = 6.0$
		$A5 = 0.93136 \times 10^{-3}$	$P1 = 8.0$
		$A6 = -0.68008 \times 10^{-4}$	$P1 = 10.0$
	第3面 (屈折面)	$\kappa = -0.24914 \times 10^{+2}$	
		$A1 = 0.13775 \times 10^{-2}$	$P1 = 3.0$
		$A2 = -0.41269 \times 10^{-2}$	$P1 = 4.0$
		$A3 = 0.21236 \times 10^{-1}$	$P1 = 5.0$
		$A4 = -0.13895 \times 10^{-1}$	$P1 = 6.0$
		$A5 = 0.16631 \times 10^{-2}$	$P1 = 8.0$
		$A6 = -0.12138 \times 10^{-3}$	$P1 = 10.0$

【0254】なお、表29中の第2非球面の「 $d2 = 2.1995$ 」とは、第2非球面(第2分割面)の形状を非球面形状式に従って光軸まで延長したときの光軸との交点と、第3面との光軸上の間隔を表している。また、表28の $n_{i'}$ は、第2光源($\lambda_2 = 780 \text{ nm}$)における屈折率を示している。

【0255】また、図41(a)にDVD再生時の球面収差図を、図41(b)にCD再生時の球面収差図を示している。また、図42(a)にDVD再生時の最良波

面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を、図42(b)にCD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を示している。また、表30には、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を示す。

【0256】

【表30】

高さ H	DVD時		CD-R時	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.279	NAL(1)=0.3806	-0.35533×10^{-3}	NAL(1)=0.3775	0.18675×10^{-1}
	NAL(2)=0.3821	-0.13685×10^{-1}	NAL(2)=0.3790	0.53763×10^{-2}
1.532	NAH(2)=0.4584	-0.19077×10^{-1}	NAH(2)=0.4547	0.94234×10^{-2}
	NAH(3)=0.4558	0.59045×10^{-3}	NAH(3)=0.4521	0.28918×10^{-1}
$0.60NA2=0.60 \times 0.45=0.270$ $1.1NA2=1.1 \times 0.45=0.495$ $NAH-NAL=0.4547-0.3790=0.0757$ $-2(\lambda 2)/(NA2)^2=-2 \times 780nm/(0.45)^2=-7.70 \mu m$ $5(\lambda 2)/(NA2)^2=5 \times 780nm/(0.45)^2=19.26 \mu m$ $H2mid=(1.279+1.532)/2=1.406$ $\Theta 1,3,mid=36.78417^\circ$ $\Theta 2,mid=36.96074^\circ$ $\Delta \Theta mid=36.96074-36.78417=0.17657^\circ$				

【0257】また、図43にDVD再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示し、図44にCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【0258】さらに、この実施の形態の対物レンズは、20 1つの光源（光源の波長 $\lambda 1=635nm$ ）を用いた光ピックアップ装置10に搭載しても、DVDのみならず*

*CDの再生が可能であった。このときのCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を図45に示す。また、この場合の、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を表31に示す。

【0259】

【表31】

高さ H	DVD時($\lambda=635nm$)		CD時($\lambda=635nm$)	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.279	NAL(1)=0.3806	-0.35533×10^{-3}	NAL(1)=0.3806	0.17571×10^{-1}
	NAL(2)=0.3821	-0.13685×10^{-1}	NAL(2)=0.3820	0.43934×10^{-2}
1.532	NAH(2)=0.4584	-0.19077×10^{-1}	NAH(2)=0.4584	0.80030×10^{-2}
	NAH(3)=0.4558	0.59045×10^{-3}	NAH(3)=0.4558	0.27319×10^{-1}
$0.60NA2=0.60 \times 0.366=0.220$ $1.3NA2=1.3 \times 0.366=0.476$ $NAH-NAL=0.4584-0.3820=0.0764$ $-2(\lambda 2)/(NA2)^2=-2 \times 635nm/(0.366)^2=-9.48 \mu m$ $5(\lambda 2)/(NA2)^2=5 \times 635nm/(0.366)^2=23.7 \mu m$ $H2mid=(1.279+1.532)/2=1.406$ $\Theta 1,3,mid=36.78417^\circ$ $\Theta 2,mid=36.96074^\circ$ $\Delta \Theta mid=36.96074-36.78417=0.17657^\circ$				

【0260】（実施例9）実施例9は、上述した第3の実施の形態の2つの光源（第1光源の波長 $\lambda 1=635nm$ 、第2光源の波長 $\lambda 2=780nm$ ）を用いた光ピ 40 ックアップ装置10に搭載する対物レンズ16であって、第1分割面Sd1～第3分割面Sd3の境界に段差

を設けた対物レンズ16に本発明を適用した例である。

【0261】表32および表33に対物レンズの光学データを示す。

【0262】

【表32】

波長 λ				635nm	780nm
焦点距離				3.35mm	3.39mm
絞り径				ϕ 4.04mm	
対物レンズの横倍率				0	
i	ri	di	di'	ni	ni'
1	∞	0.0000		1.0	1.0
2	2.117	2.2000		1.5383	1.5337
3	-7.903	1.7580	1.3890	1.0	1.0
4	∞	0.6000	1.2000	1.58	1.58
5	∞				

【0263】

* * 【表33】

非球面データ					
第2面 (屈折面)	第1 非球面	$0 \leq H < 1.270$		(第1分割面)	
		$1.520 \leq H$		(第3分割面)	
		$\kappa = -0.97770$			
		$A1 = -0.36792 \times 10^{-2}$		$P1 = 3.0$	
		$A2 = 0.21127 \times 10^{-1}$		$P2 = 4.0$	
		$A3 = -0.24914 \times 10^{-1}$		$P3 = 5.0$	
		$A4 = 0.23908 \times 10^{-1}$		$P4 = 6.0$	
		$A5 = -0.12789 \times 10^{-1}$		$P5 = 7.0$	
		$A6 = 0.32635 \times 10^{-2}$		$P6 = 8.0$	
		$A7 = -0.11776 \times 10^{-3}$		$P7 = 10.0$	
	第2 非球面	$1.270 \leq H < 1.520$		(第2分割面)	
		$d2 = 2.200$			
		$\kappa = -0.96728 \times 10^{+0}$			
		$A1 = -0.44081 \times 10^{-2}$		$P1 = 3.0$	
		$A2 = 0.21265 \times 10^{-1}$		$P2 = 4.0$	
		$A3 = -0.24757 \times 10^{-1}$		$P3 = 5.0$	
		$A4 = 0.24042 \times 10^{-1}$		$P4 = 6.0$	
		$A5 = -0.12826 \times 10^{-1}$		$P5 = 7.0$	
		$A6 = 0.32570 \times 10^{-2}$		$P6 = 8.0$	
		$A7 = -0.11713 \times 10^{-3}$		$P7 = 10.0$	
	第3面 (屈折面)	$\kappa = -0.19532 \times 10^{+2}$			
		$A1 = 0.25586 \times 10^{-4}$		$P1 = 3.0$	
		$A2 = 0.22177 \times 10^{-1}$		$P2 = 4.0$	
		$A3 = -0.32988 \times 10^{-1}$		$P3 = 5.0$	
		$A4 = 0.32771 \times 10^{-1}$		$P4 = 6.0$	
		$A5 = -0.17803 \times 10^{-1}$		$P5 = 7.0$	
		$A6 = 0.40149 \times 10^{-2}$		$P6 = 8.0$	
		$A7 = -0.92804 \times 10^{-4}$		$P7 = 10.0$	

【0264】なお、表33中の第2非球面の「 $d2 = 2.200$ 」とは、第2非球面(第2分割面)の形状を非球面形状式に従って光軸まで延長したときの光軸との交点と、第3面との光軸上の間隔を表している。また、表32の ni' は、第2光源($\lambda_2 = 780\text{nm}$)における屈折率を示している。

【0265】また、図46(a)にDVD再生時の球面収差図を、図46(b)にCD再生時の球面収差図を示している。また、図47(a)にDVD再生時の最良波

面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を、図47(b)にCD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を示している。また、表34には、NAおよびNAHの開口径数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を示す。

【0266】

【表34】

高さ H	DVD 時		CD-R 時	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.270	NAL(1)=0.3780	-0.29200×10^{-3}	NAL(1)=0.3748	0.15633×10^{-1}
	NAL(2)=0.3789	-0.11676×10^{-1}	NAL(2)=0.3758	0.68900×10^{-2}
1.520	NAH(2)=0.4546	-0.20034×10^{-1}	NAH(2)=0.4508	0.77675×10^{-2}
	NAH(3)=0.4523	-0.24165×10^{-2}	NAH(3)=0.4485	0.25251×10^{-1}
$0.60NA2=0.60 \times 0.45=0.270$ $1.1NA2=1.1 \times 0.45=0.495$ $NAH-NAL=0.4508-0.3758=0.0750$ $-2(\lambda/2)/(NA2)^2=-2 \times 780nm/(0.45)^2=-7.70 \mu m$ $5(\lambda/2)/(NA2)^2=5 \times 780nm/(0.45)^2=19.26 \mu m$ $H2mid=(1.270+1.520)/2=1.395$ $\Theta 1,3, mid=36.54832^\circ$ $\Theta 2, mid=36.68357^\circ$ $\Delta \Theta mid=36.68357-36.54832=0.13525^\circ$				

【0267】また、図48にDVD再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示し、図49にCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【0268】さらに、この実施の形態の対物レンズは、20 1つの光源（光源の波長 $\lambda 1=635nm$ ）を用いた光ピックアップ装置10に搭載しても、DVDのみならず*

*CDの再生が可能であった。このときのCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を図50に示す。また、この場合の、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を表35に示す。

【0269】

【表35】

高さ H	DVD 時		CD 時($\lambda 635nm$)	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.270	NAL(1)=0.3780	-0.29200×10^{-3}	NAL(1)=0.3780	0.14740×10^{-1}
	NAL(2)=0.3789	-0.11676×10^{-1}	NAL(2)=0.3789	0.60778×10^{-2}
1.520	NAH(2)=0.4546	-0.20034×10^{-1}	NAH(2)=0.4546	0.65378×10^{-2}
	NAH(3)=0.4523	-0.24165×10^{-2}	NAH(3)=0.4523	0.23856×10^{-1}
$0.60NA2=0.60 \times 0.366=0.220$ $1.3NA2=1.3 \times 0.366=0.476$ $NAH-NAL=0.4546-0.3789=0.0757$ $-2(\lambda/2)/(NA2)^2=-2 \times 635nm/(0.366)^2=-9.48 \mu m$ $5(\lambda/2)/(NA2)^2=5 \times 635nm/(0.366)^2=23.7 \mu m$ $H2mid=(1.270+1.520)/2=1.395$ $\Theta 1,3, mid=36.54832^\circ$ $\Theta 2, mid=36.68357^\circ$ $\Delta \Theta mid=36.68357-36.54832=0.13525^\circ$				

【0270】（実施例10）実施例10は、上述した第3の実施の形態の2つの光源（第1光源の波長 $\lambda 1=635nm$ 、第2光源の波長 $\lambda 2=780nm$ ）を用いた 40 光ピックアップ装置10に搭載する対物レンズ16であって、第1分割面Sd1～第3分割面Sd3の境界に段差を設けた対物レンズ16に本発明を適用した例であ

る。

【0271】表36および表37に対物レンズの光学データを示す。

【0272】

【表36】

波長 λ				635nm	780nm
焦点距離				3.36mm	3.39mm
絞り径				ϕ 4.04mm	
対物レンズの横倍率				0	
i	ri	di	di'	ni	ni'
1	∞	0.000		1.0	1.0
2	2.114	2.200		1.5383	1.5337
3	-7.963	1.757	1.401	1.0	1.0
4	∞	0.600	1.200	1.58	1.58
5	∞				

【0273】

* * 【表37】

非球面データ					
第2面 (屈折面)	第1 非球面	$0 \leq H < 1.111$		(第1分割面)	
		$1.481 \leq H$		(第3分割面)	
		$\kappa = -0.97700$			
		$A1 = 0.63781 \times 10^{-3}$		$P1 = 3.0$	
		$A2 = 0.36688 \times 10^{-3}$		$P1 = 4.0$	
		$A3 = 0.83511 \times 10^{-2}$		$P1 = 5.0$	
		$A4 = -0.37296 \times 10^{-2}$		$P1 = 6.0$	
		$A5 = 0.48548 \times 10^{-3}$		$P1 = 8.0$	
		$A6 = -0.43124 \times 10^{-4}$		$P1 = 10.0$	
	第2 非球面	$1.111 \leq H < 1.481$		(第2分割面)	
		$d2 = 2.1995$			
		$\kappa = -0.11481 \times 10^{+1}$			
		$A1 = 0.70764 \times 10^{-2}$		$P1 = 3.0$	
		$A2 = -0.13388 \times 10^{-1}$		$P1 = 4.0$	
		$A3 = 0.24084 \times 10^{-1}$		$P1 = 5.0$	
		$A4 = -0.97636 \times 10^{-2}$		$P1 = 6.0$	
		$A5 = 0.93136 \times 10^{-3}$		$P1 = 8.0$	
		$A6 = -0.68008 \times 10^{-4}$		$P1 = 10.0$	
	第3面 (屈折面)	$\kappa = -0.24914 \times 10^{+2}$			
		$A1 = 0.13775 \times 10^{-2}$		$P1 = 3.0$	
		$A2 = -0.41269 \times 10^{-2}$		$P1 = 4.0$	
		$A3 = 0.21236 \times 10^{-1}$		$P1 = 5.0$	
		$A4 = -0.13895 \times 10^{-1}$		$P1 = 6.0$	
		$A5 = 0.16631 \times 10^{-2}$		$P1 = 8.0$	
		$A6 = -0.12138 \times 10^{-3}$		$P1 = 10.0$	

【0274】なお、表37中の第2非球面の「 $d2 = 2.1995$ 」とは、第2非球面（第2分割面）の形状を非球面形状式に従って光軸まで延長したときの光軸との交点と、第3面との光軸上の間隔を表している。また、表36の ni' は、第2光源（ $\lambda 2 = 780\text{nm}$ ）における屈折率を示している。

【0275】また、図51(a)にDVD再生時の球面収差図を、図51(b)にCD再生時の球面収差図を示

している。また、図52(a)にDVD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を、図52(b)にCD再生時の最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図を示している。また、表38には、NAIおよびNAHの開口径数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を示す。

50 【0276】

【表 38】

高さ H	DVD 時		CD 時 ($\lambda=780(\text{nm})$)	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.111	NAL(1)=0.3307	-0.65069×10^{-3}	NAL(1)=0.3280	0.13417×10^{-1}
	NAL(2)=0.3317	-0.10281×10^{-1}	NAL(2)=0.3289	0.37802×10^{-2}
1.481	NAH(2)=0.4430	-0.17788×10^{-1}	NAH(2)=0.4393	0.86005×10^{-2}
	NAH(3)=0.4406	0.48121×10^{-3}	NAH(3)=0.4370	0.26737×10^{-1}
$0.60\text{NA}2=0.60 \times 0.45=0.270$ $1.1\text{NA}2=1.1 \times 0.45=0.495$ $\text{NAH}-\text{NAL}=0.4393-0.3289=0.1104$ $-2 \lambda/(\text{NA}2)^2=-2 \times 780\text{nm}/(0.45)^2=-7.70 \mu\text{m}$ $5 \lambda/(\text{NA}2)^2=5 \times 780\text{nm}/(0.45)^2=19.26 \mu\text{m}$ $\text{H}2\text{mid}=(1.111+1.481)/2=1.296$ $\ominus 1,3,\text{mid}=34.07635^\circ$ $\ominus 2,\text{mid}=34.21711^\circ$ $\Delta \ominus \text{mid}=34.21711-34.07635=0.14076^\circ$				

【0277】また、図53にDVD再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示し、図54にCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【0278】さらに、この実施の形態の対物レンズは、1つの光源（光源の波長 $\lambda_1=635\text{nm}$ ）を用いた光ピックアップ装置10に搭載しても、DVDのみならず*

*CDの再生が可能であった。このときのCD再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を図55に示す。また、この場合の、NALおよびNAHの開口数、球面収差の発生量、法線と光軸とのなす角度、法線と、各条件の値を表39に示す。

【0279】

【表 39】

高さ H	DVD 時		CD 時 ($\lambda=635\text{nm}$)	
	開口数	球面収差(mm)	開口数	球面収差(mm)
1.111	NAL(1)=0.3307	-0.65069×10^{-3}	NAL(1)=0.3307	0.12601×10^{-1}
	NAL(2)=0.3317	-0.10281×10^{-1}	NAL(2)=0.3317	0.30498×10^{-2}
1.481	NAH(2)=0.4430	-0.17788×10^{-1}	NAH(2)=0.4430	0.72752×10^{-2}
	NAH(3)=0.4406	0.48121×10^{-3}	NAH(3)=0.4406	0.25244×10^{-1}
$0.60\text{NA}2=0.60 \times 0.366=0.220$ $1.1\text{NA}2=1.1 \times 0.366=0.476$ $\text{NAH}-\text{NAL}=0.4430-0.3317=0.1113$ $-2 \lambda/(\text{NA}2)^2=-2 \times 635\text{nm}/(0.366)^2=-9.48 \mu\text{m}$ $5 \lambda/(\text{NA}2)^2=5 \times 635\text{nm}/(0.366)^2=23.7 \mu\text{m}$ $\text{H}2\text{mid}=(1.111+1.481)/2=1.296$ $\ominus 1,3,\text{mid}=34.07635^\circ$ $\ominus 2,\text{mid}=34.21711^\circ$ $\Delta \ominus \text{mid}=34.21711-34.07635=0.14076^\circ$				

【0280】以上、実施例1～実施例10によると、透明基板の厚さが異なる2つの光ディスクを、1つの集光光学系（そのうち1つの対物レンズ）共に良好に再生することができた。また、記録に際しても何ら問題は無い。特に、実施例2、4～10においては、2つの光源を用いて第1光ディスクとしてDVDの再生とともに、第2光ディスクとしてCD-Rの再生（光源の波長が780nmを必須とする）ができた。さらに、この実施例2、4～10においては、1つの光源を用いて、DVDおよびCDの再生も良好にできた。さらに、実施例5～7においては、第2光ディスクとして必要開口数がNA=0.5という高NAまで対応でき、CD-Rの記録に

も十分に使用できた。

【0281】また、実施例1～10のうち実施例1、3、8～10においては、透明基板の厚さが1.2mmの第2光ディスクの再生信号が特に良好であった。これは、表40に示すように、この実施例1、3、8～10においては、第1分割面を通過した光束による最良波面収差（第1分割面内波面収差量という）が、回折限界性能である0.07 λ を満たすためである。

【0282】

【表 40】

光情報記録媒体の透明基板厚 1.2(mm)	
光源波長 $\lambda=635(\text{nm})$	
実施例 No.	第1分割面内波面収差量
1.	0.063(λrms)
2.	0.097(λrms)
3.	0.063(λrms)
4.	0.090(λrms)
5.	0.143(λrms)
6.	0.126(λrms)
7.	0.126(λrms)
8.	0.054(λrms)
9.	0.047(λrms)
10.	0.025(λrms)
光情報記録媒体の透明基板厚 1.2(mm)	
光源波長 $\lambda=780(\text{nm})$	
実施例 No.	第1分割面内波面収差量
2.	0.083(λrms)
4.	0.078(λrms)
5.	0.123(λrms)
6.	0.108(λrms)
7.	0.108(λrms)
8.	0.047(λrms)
9.	0.040(λrms)
10.	0.022(λrms)

【0283】なお、表40において、上段の表は光源の波長 λ が635nmで透明基板の厚さが1.2mmの第2光ディスクを再生する場合の第1分割面内波面収差量を示しているが、実施例2、4～10においては2光源*

*を用いる実施例であるため、下段の表に光源の波長 λ が780nmで透明基板の厚さが1.2mmの第2光ディスクを再生する場合の第1分割面内波面収差量を示している。

【0284】また、上述した実施例1～10において、 n を自然数とすると、第 $(2n-1)$ 分割面（例えば、第1分割面Sd1又は第3分割面）を透過しDVDの透明基板を介した光と、第 $2n$ 分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）のほぼ中央位置より光軸側の第 $2n$ 分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）を透過しDVDの透明基板を介した光と、の位相差である $(\Delta nL)\pi$ （例えば、 $(\Delta 1L)\pi$ 又は $(\Delta 2L)\pi$ ）（rad）、及び、第 $(2n+1)$ 分割面（例えば、第3分割面Sd3又は第5分割面Sd5）を透過しDVDの透明基板を介した光と、前記中央位置より光軸側とは反対側の第 $2n$ 分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）を透過しDVDの透明基板を介した光と、の位相差である $(\Delta nH)\pi$ （例えば、 $(\Delta 1H)\pi$ 又は $(\Delta 2H)\pi$ ）（rad）の値を、表41に示す。なお、この場合、位相差の符号は、光の進行方向（光ディスクへ向かう方向）を正とし、第 $(2n-1)$ 分割面あるいは第 $(2n+1)$ 分割面を透過しDVDの透明基板を介した光に対する第 $2n$ 分割面を透過しDVDの透明基板を介した光の位相差を比較する。

【0285】

【表41】

光情報記録媒体の透明基板厚 0.6(mm)				
光源波長 $\lambda=635(\text{nm})$				
実施例 No.	$(\Delta 1H)\pi(\text{rad})$	$(\Delta 1L)\pi(\text{rad})$	$(\Delta 2H)\pi(\text{rad})$	$(\Delta 2L)\pi(\text{rad})$
1.	1.64 π	1.19 π	—	—
2.	4.67 π	3.36 π	—	—
3.	0.53 π	0.00 π	—	—
4.	4.24 π	3.46 π	—	—
5.	6.27 π	3.93 π	—	—
6.	3.93 π	3.35 π	6.76 π	5.80 π
7.	4.23 π	3.65 π	6.33 π	5.36 π
8.	4.39 π	2.83 π	—	—
9.	1.50 π	0.33 π	—	—
10.	3.86 π	2.17 π	—	—

【0286】この表から明らかなように、実施例1～10の全てにおいて、 $(\Delta nH) > (\Delta nL)$ を満足する。なお、表41における値は、各分割面Sd1～Sd3（あるいはSd5）間の境界部における、各分割面に入射する光束での位相差を示している。

【0287】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明においては、1つの集光光学系で複数の光情報記録媒体の記

再生ができ、低コストかつ複雑化しないで実現でき、さらに、高NAの光情報記録媒体にも対応できる。さらに、本発明では、球面収差の発生を積極的に利用し、複数の光情報記録媒体の記録／再生を1つの集光光学系で行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】光ピックアップ装置の概略構成図である。

光源側から見た正面図 (b) である。

【図 3】対物レンズを模式的に示した断面図である。

【図 4】対物レンズの球面収差図を模式的に示した図である。

【図 5】対物レンズの波面収差図を模式的に示した図である。

【図 6】第 3 の実施の形態の光ピックアップ装置の概略構成図である。

【図 7】第 4 の実施の形態の対物レンズを模式的に示した断面図 (a) 及び光源側から見た正面図 (b) である。

【図 8】実施例 1 の対物レンズの収差図である。

【図 9】実施例 1 の対物レンズを最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図である。

【図 10】実施例 1 の対物レンズで DVD 再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図である。

【図 11】実施例 1 の CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 12】実施例 2 の対物レンズの収差図である。

【図 13】実施例 2 の対物レンズを最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図である。

【図 14】実施例 2 の対物レンズで DVD 再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図である。

【図 15】実施例 2 の CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 16】実施例 2 の対物レンズで波長 635 nm で CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 17】実施例 3 の対物レンズの収差図である。

【図 18】実施例 3 の対物レンズを最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図である。

【図 19】実施例 3 の対物レンズで DVD 再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図である。

【図 20】実施例 3 の CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 21】実施例 4 の対物レンズの収差図である。

【図 22】実施例 4 の対物レンズを最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図である。

【図 23】実施例 4 の対物レンズで DVD 再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強

度分布図である。

【図 24】実施例 4 の CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 25】実施例 4 の対物レンズで波長 635 nm で CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 26】実施例 5 の対物レンズの収差図である。

【図 27】実施例 5 の対物レンズを最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図である。

【図 28】実施例 5 の対物レンズで DVD 再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図である。

【図 29】実施例 5 の CD-R 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 30】実施例 5 の対物レンズで波長 635 nm で CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 31】実施例 6 の対物レンズの収差図である。

【図 32】実施例 6 の対物レンズを最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図である。

【図 33】実施例 6 の対物レンズで DVD 再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図である。

【図 34】実施例 6 の CD-R 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 35】実施例 6 の対物レンズで波長 635 nm で CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 36】実施例 7 の対物レンズの収差図である。

【図 37】実施例 7 の対物レンズを最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図である。

【図 38】実施例 7 の対物レンズで DVD 再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図である。

【図 39】実施例 7 の CD-R 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 40】実施例 7 の対物レンズで波長 635 nm で CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 41】実施例 8 の対物レンズの収差図である。

【図 42】実施例 8 の対物レンズを最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図である。

【図 4 3】実施例 8 の対物レンズで DVD 再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図である。

【図 4 4】実施例 8 の CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 4 5】実施例 8 の対物レンズで波長 635 nm で CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 4 6】実施例 9 の対物レンズの収差図である。

【図 4 7】実施例 9 の対物レンズを最良波面収差が得られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図である。

【図 4 8】実施例 9 の対物レンズで DVD 再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図である。

【図 4 9】実施例 9 の CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 5 0】実施例 9 の対物レンズで波長 635 nm で CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 5 1】実施例 10 の対物レンズの収差図である。

【図 5 2】実施例 10 の対物レンズを最良波面収差が得

られる位置にデフォーカスした状態でみたときの波面収差図である。

【図 5 3】実施例 10 の対物レンズで DVD 再生時の最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図である。

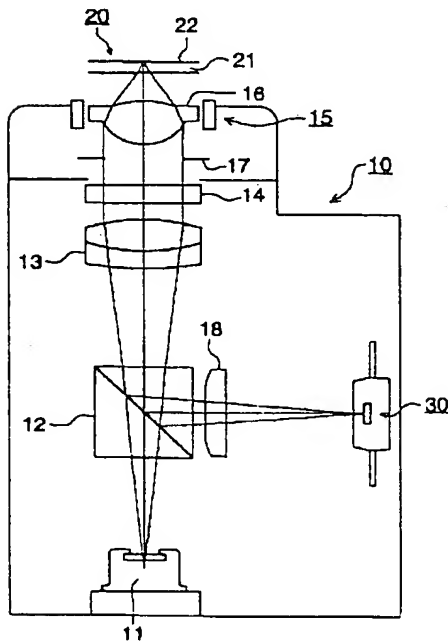
【図 5 4】実施例 10 の CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

【図 5 5】実施例 10 の対物レンズで波長 635 nm で CD 再生時に最良のスポット形状が得られたときの集光スポットの相対強度分布図を示す。

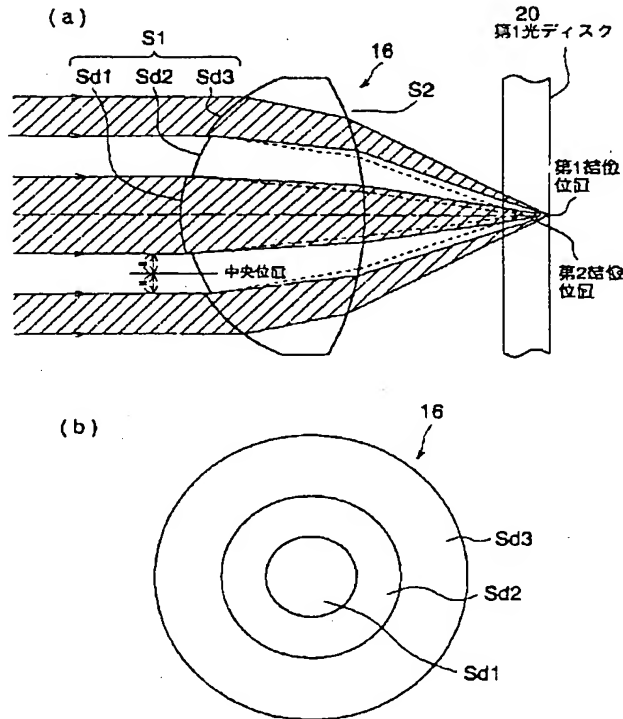
【符号の説明】

- 10 光ピックアップ装置
- 11 半導体レーザ（光源）
- 13 コリメータレンズ
- 16 対物レンズ
- 17 絞り
- 20 光情報記録媒体（光ディスク）
- 21 透明基板
- 22 情報記録面
- S1, S2 屈折面
- Sd1~Sd5 分割面
- 111 第1光源（第1半導体レーザ）
- 112 第2光源（第2半導体レーザ）

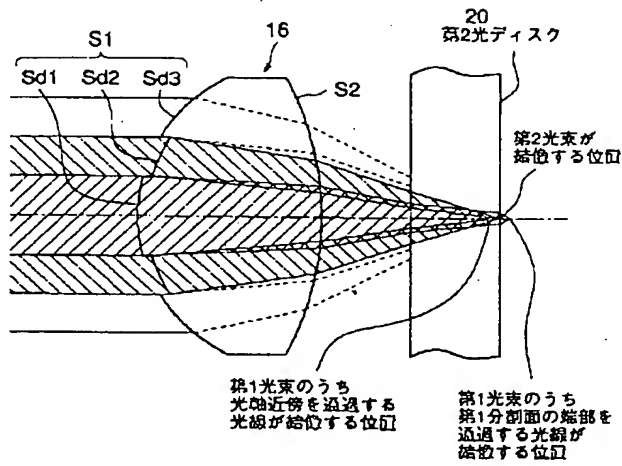
【図 1】



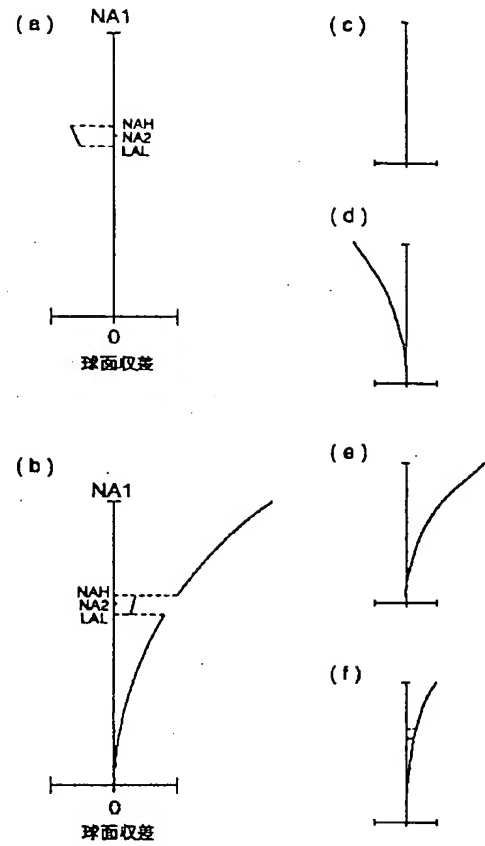
【図 2】



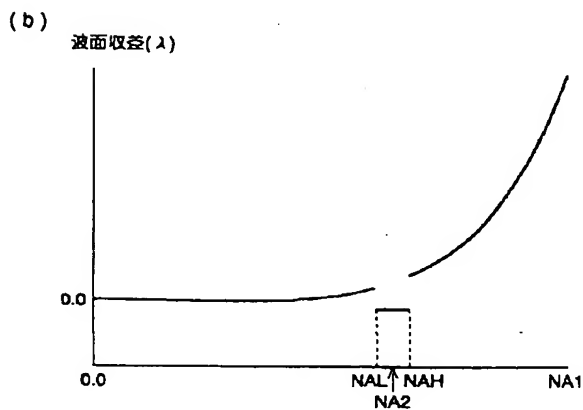
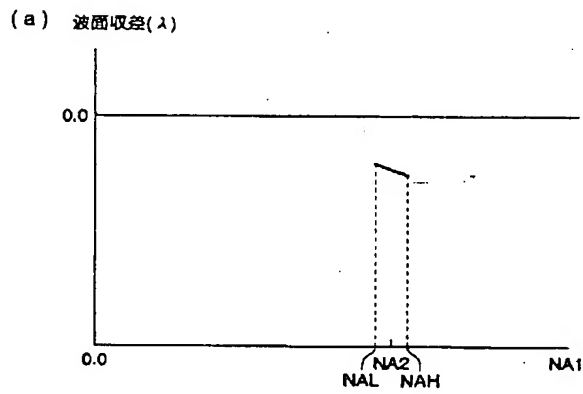
【図 3】



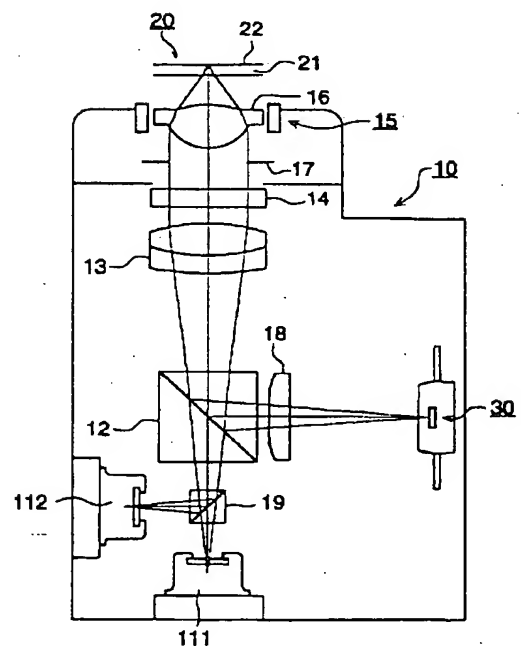
【図 4】



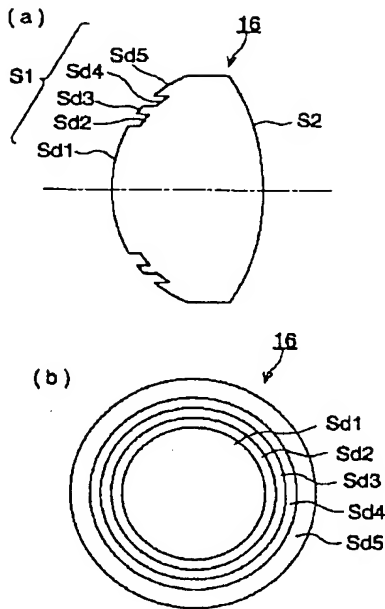
【図 5】



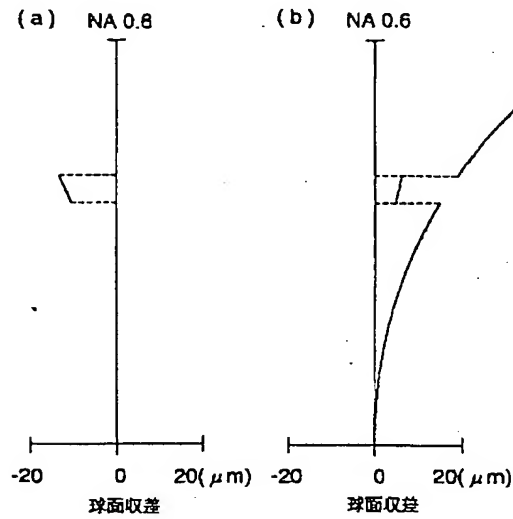
【図 6】



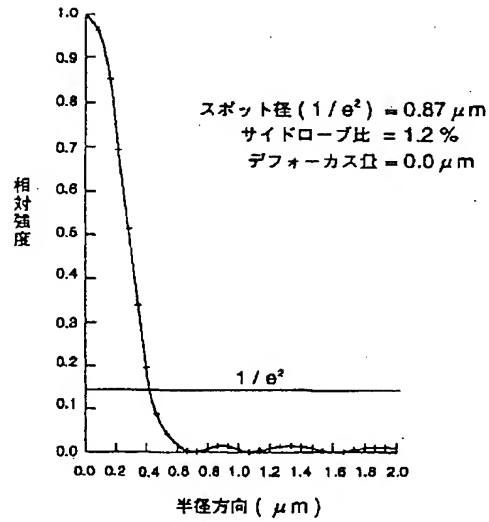
【図 7】



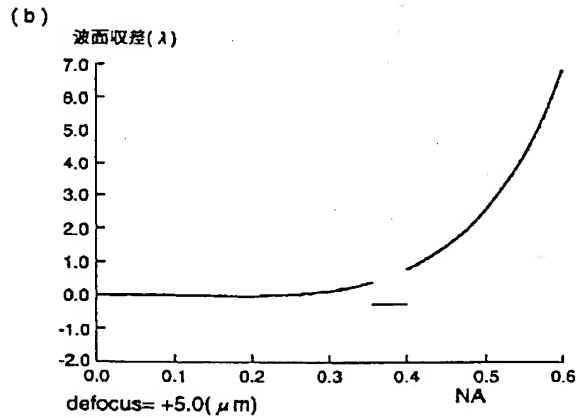
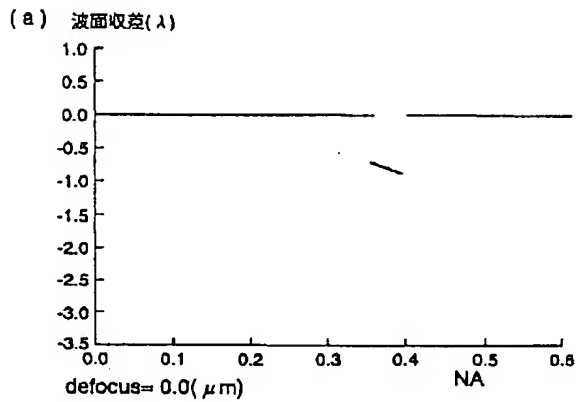
【図 8】



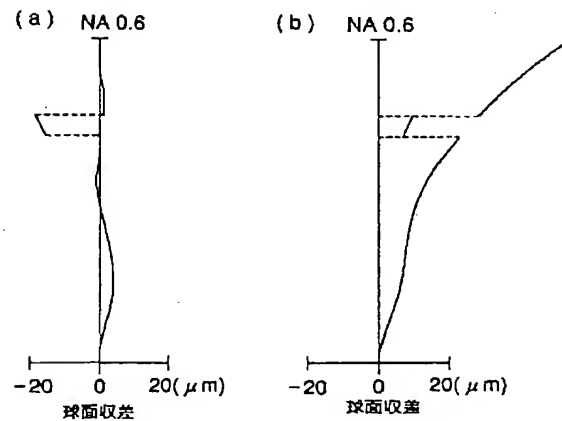
【図 10】



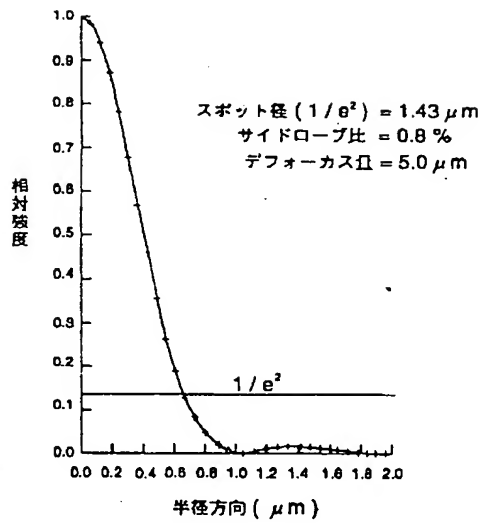
【図 9】



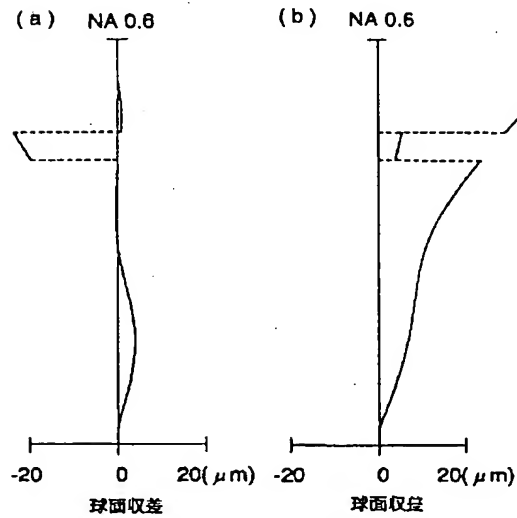
【図 21】



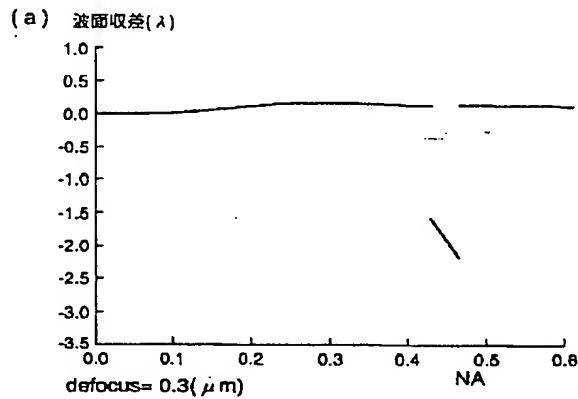
【図11】



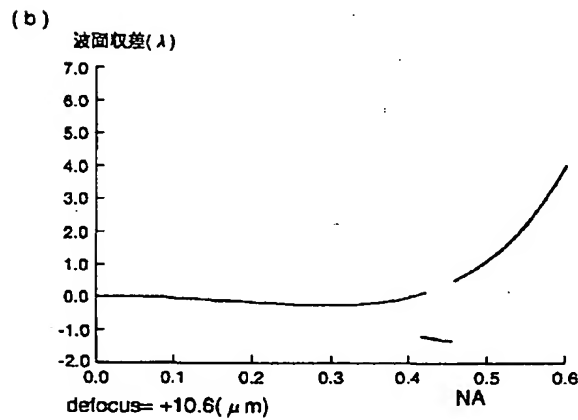
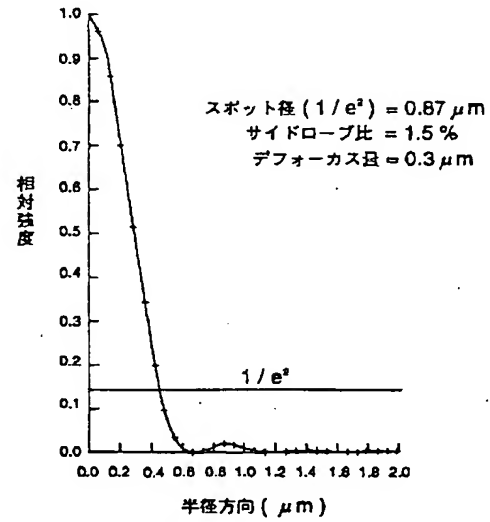
【図12】



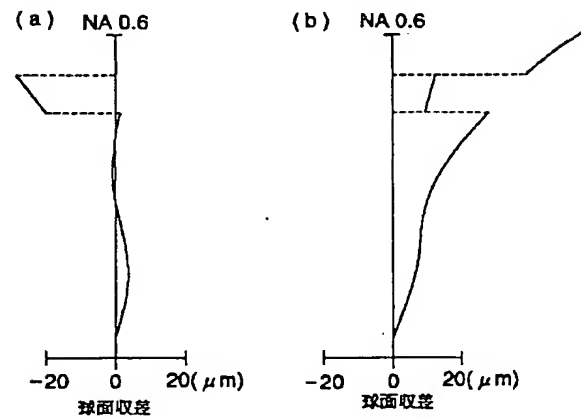
【図13】



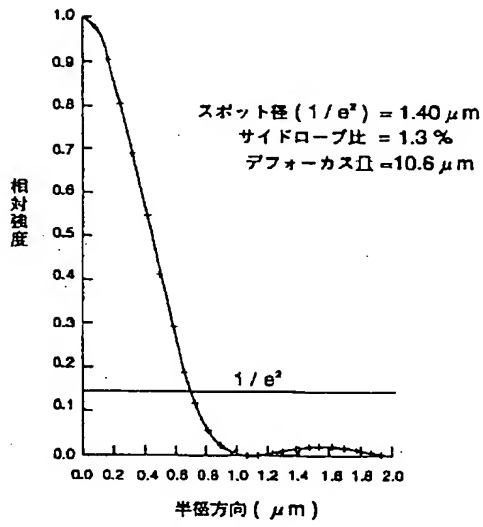
【図14】



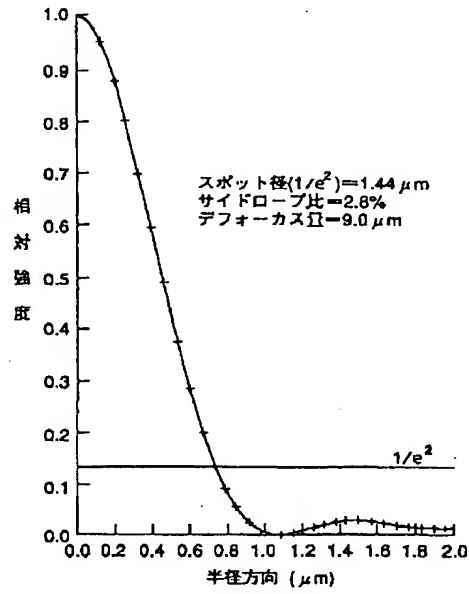
【図26】



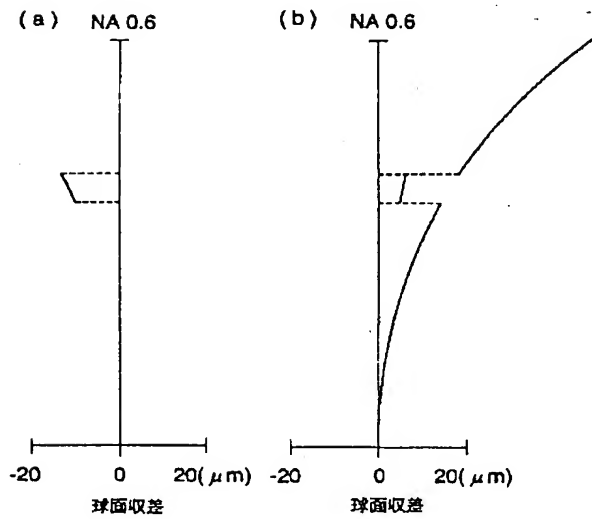
【図15】



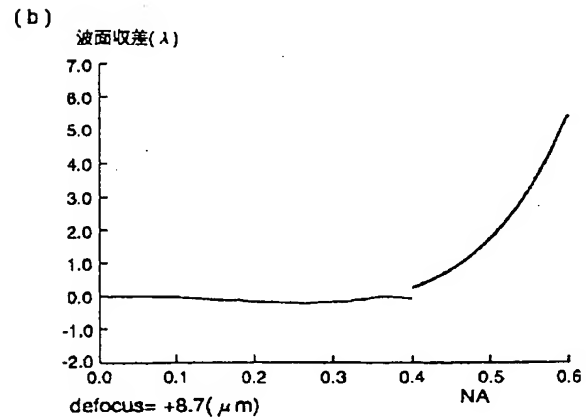
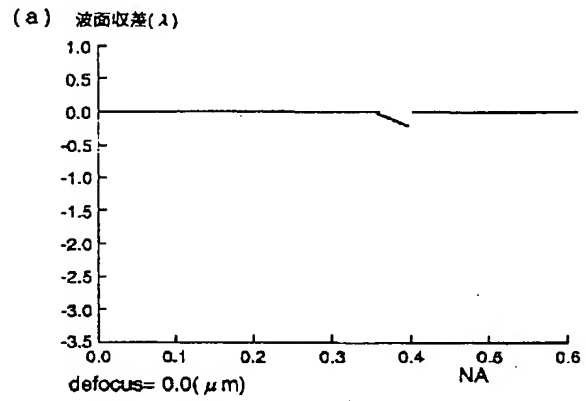
【図16】



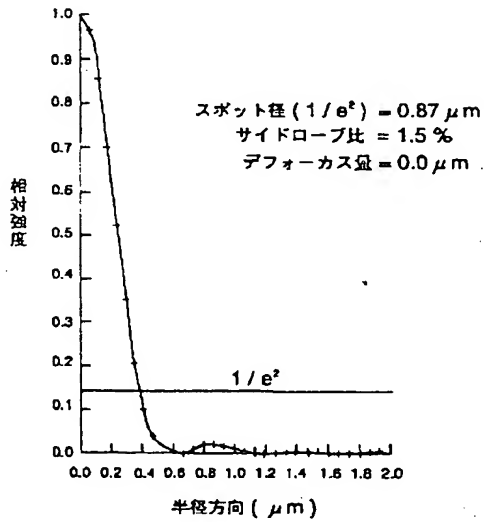
【図17】



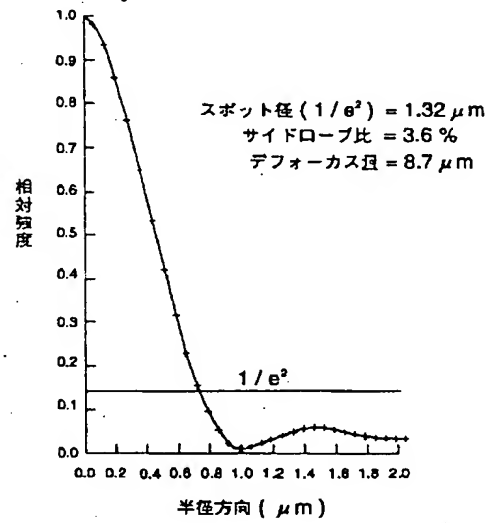
【図18】



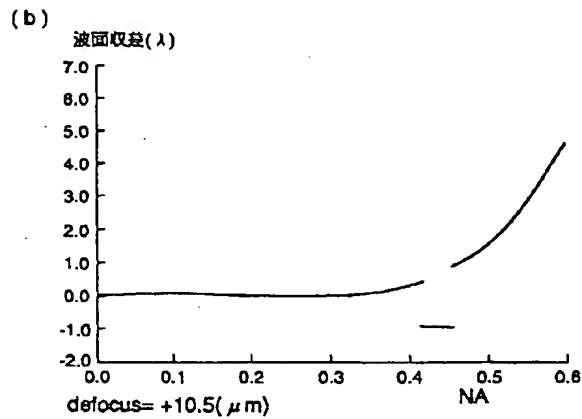
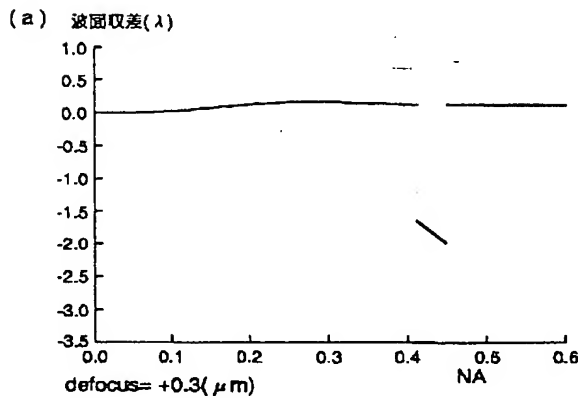
【図 19】



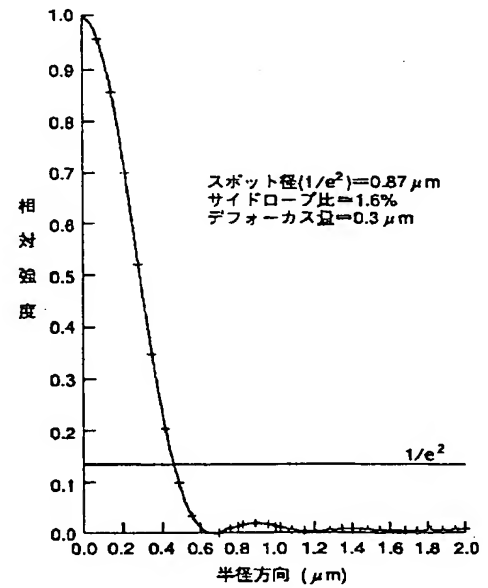
【図 20】



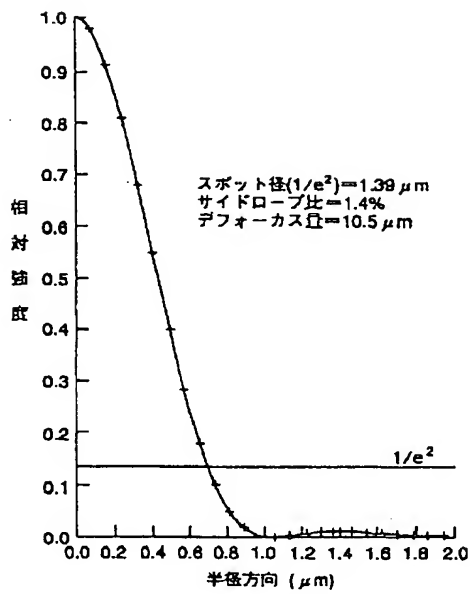
【図 22】



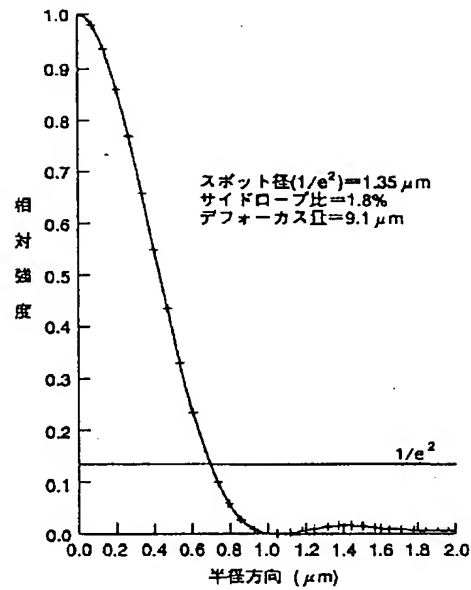
【図 23】



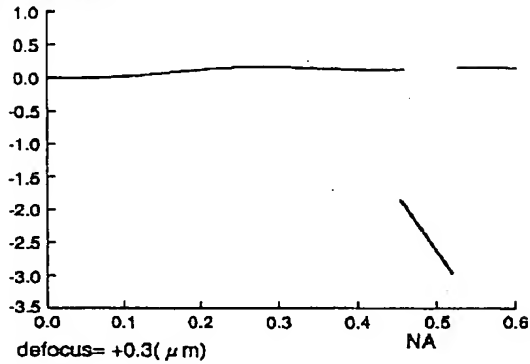
【図 24】



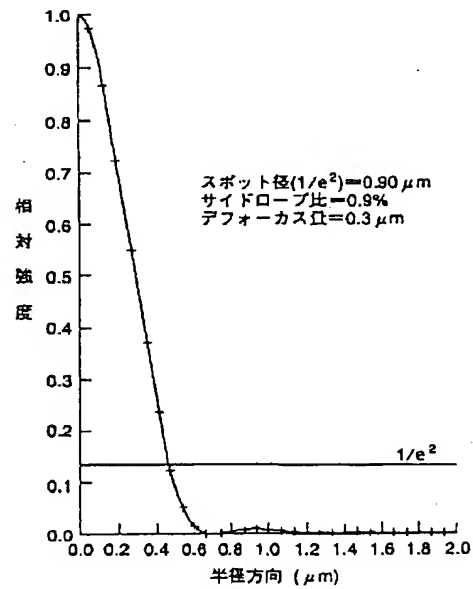
【図 25】



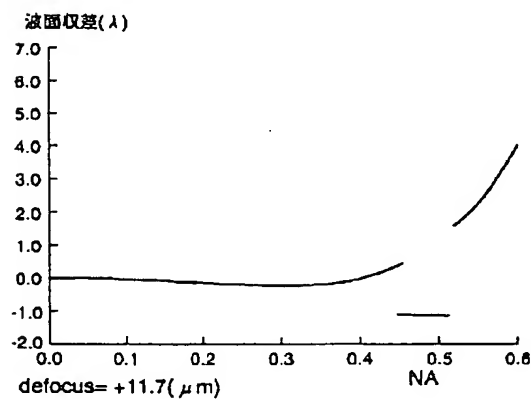
【図 27】

(a) 波面収差(λ)

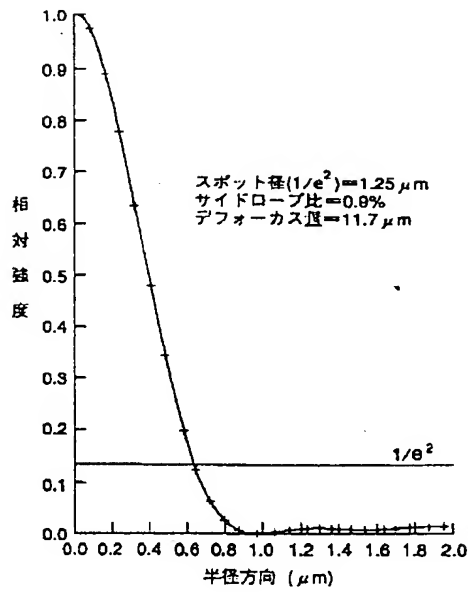
【図 28】



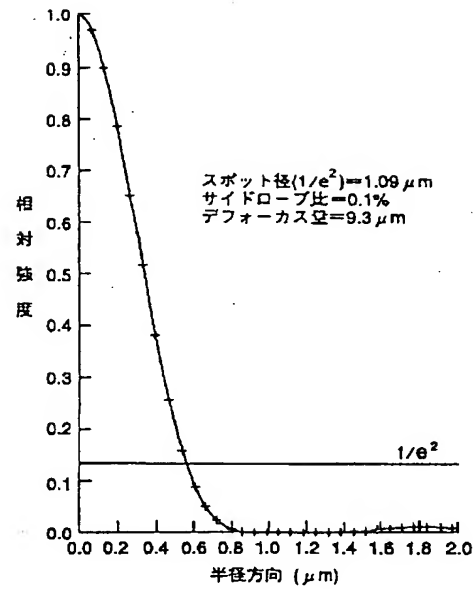
(b)



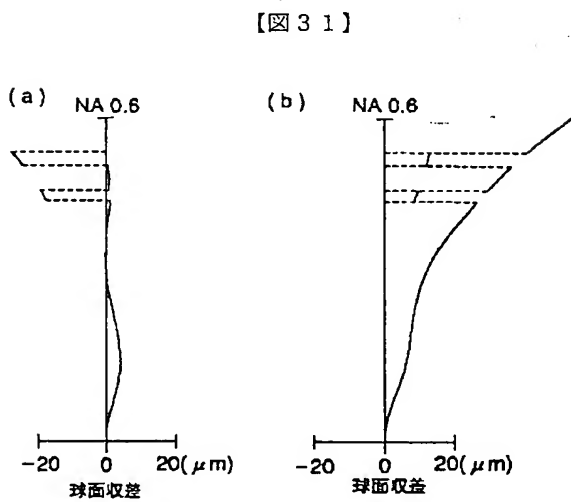
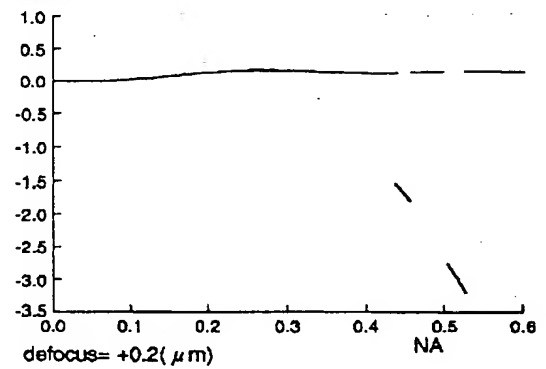
【図 29】



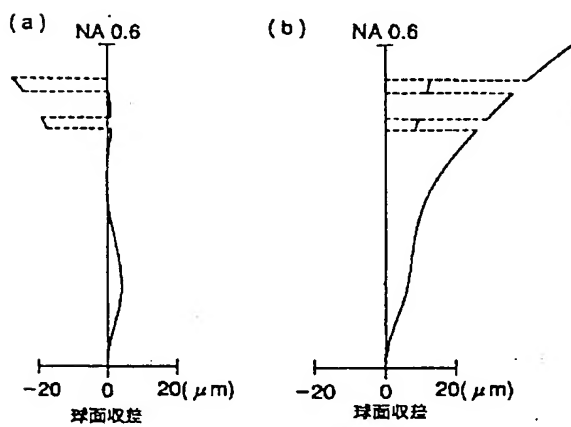
【図 30】



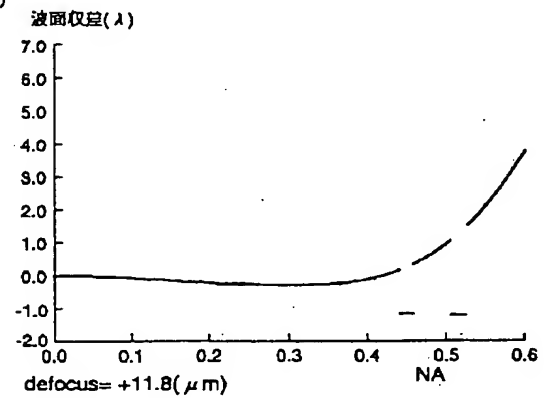
【図 32】

(a) 波面収差(λ)

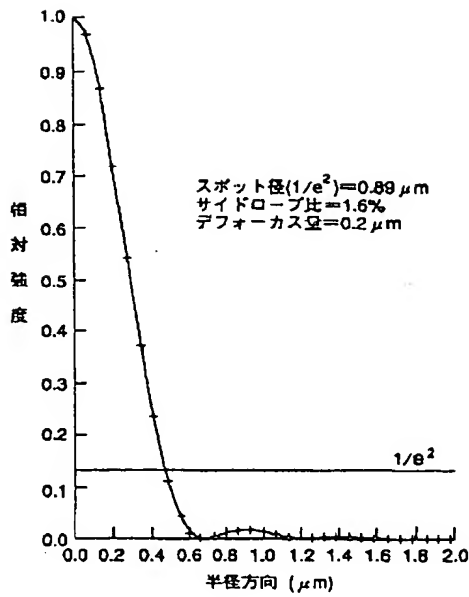
【図 36】



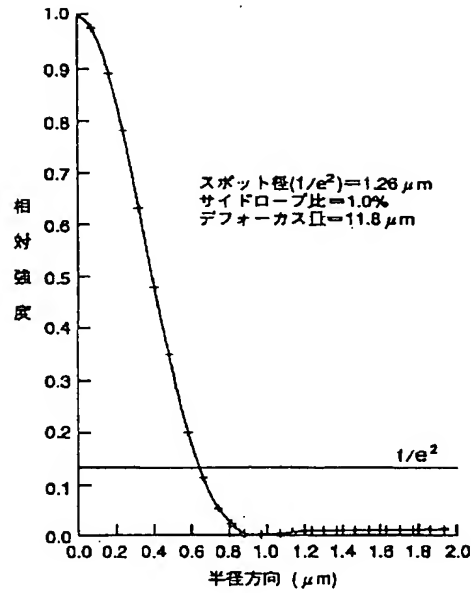
(b)



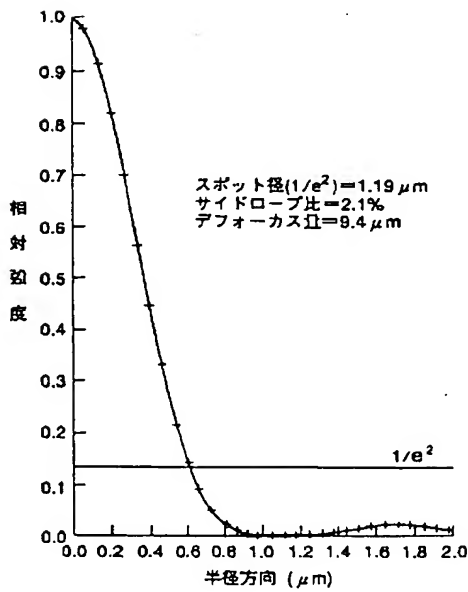
【図 3 3】



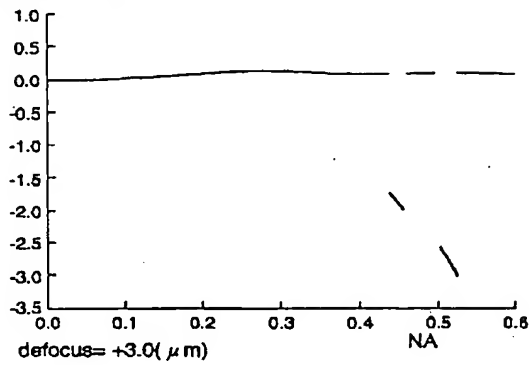
【図 3 4】



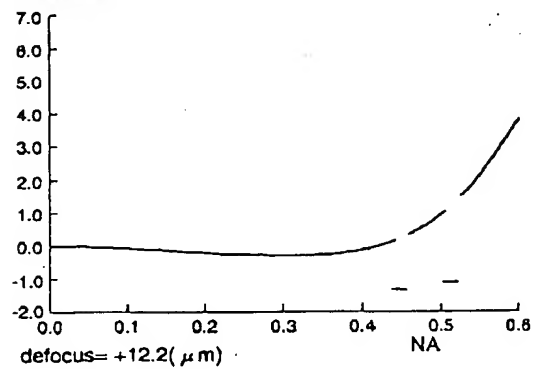
【図 3 5】



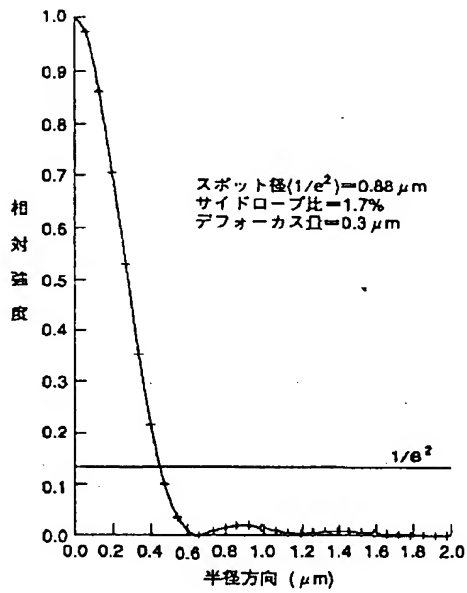
【図 3 7】

(a) 波面収差(λ)

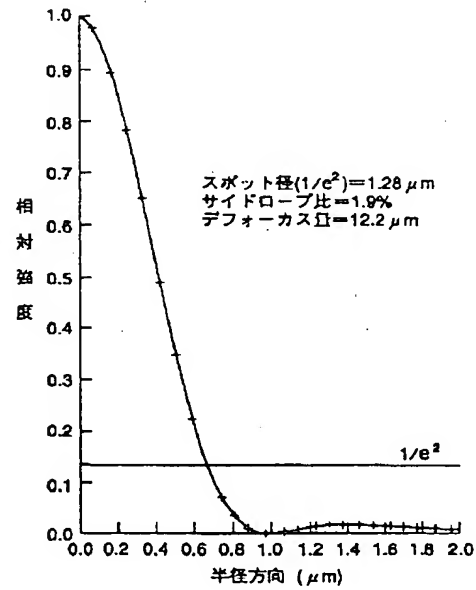
(b)

波面収差(λ)

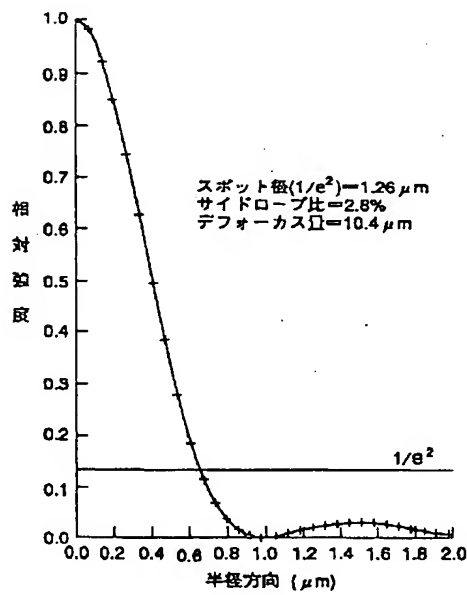
【図 38】



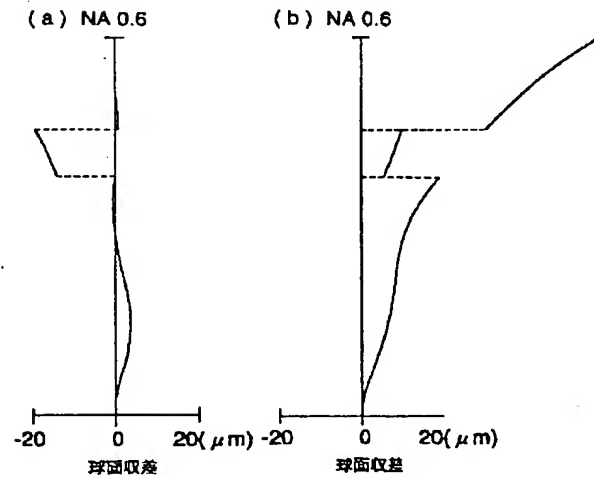
【図 39】



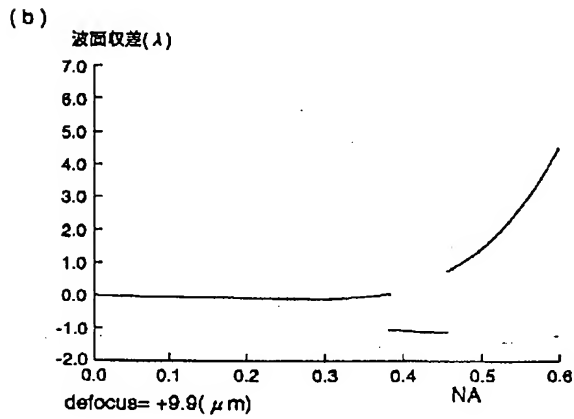
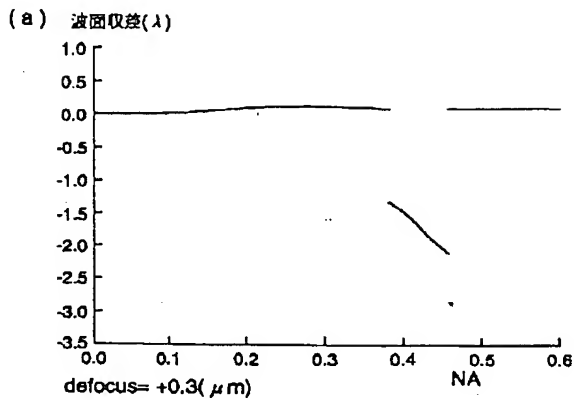
【図 40】



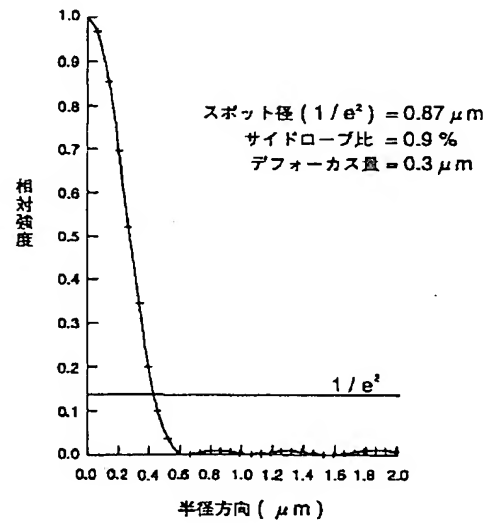
【図 41】



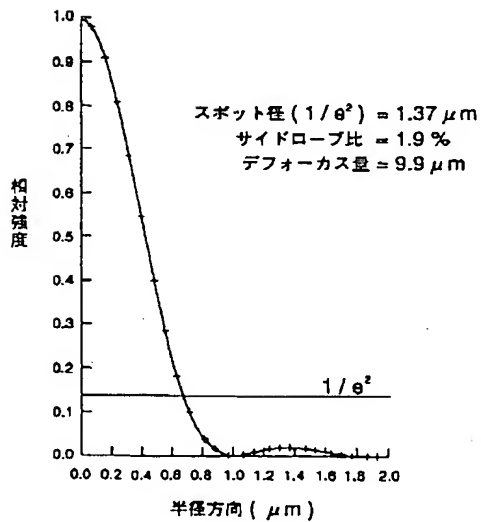
【図 4 2】



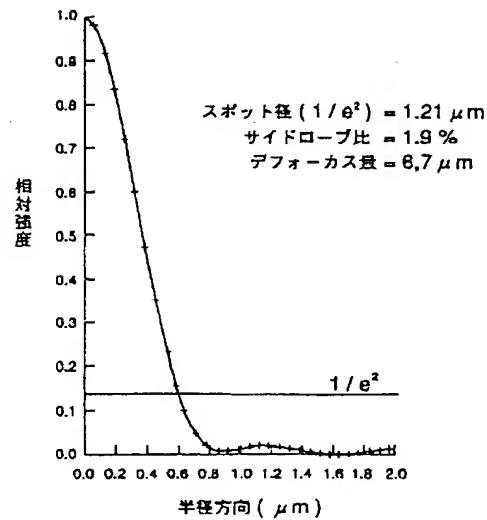
【図 4 3】



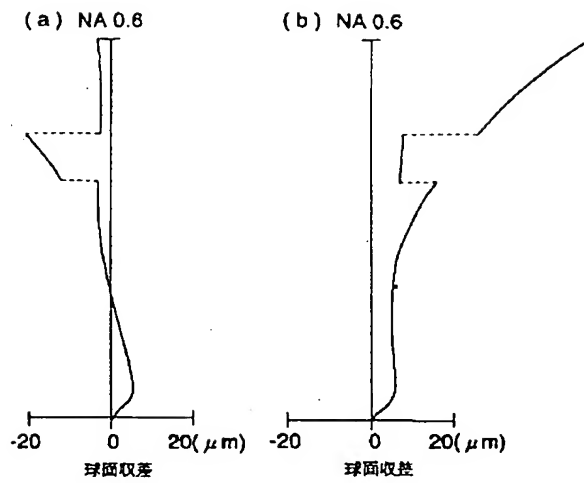
【図 4 4】



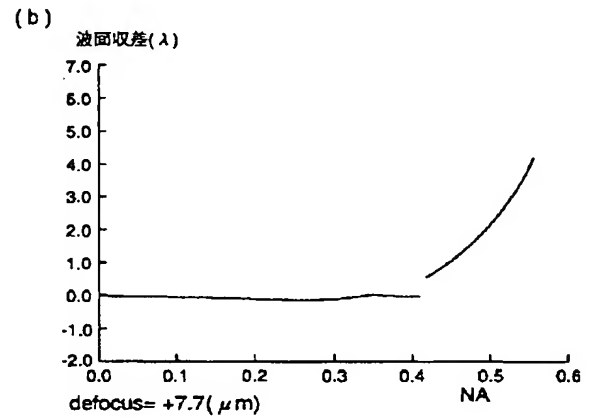
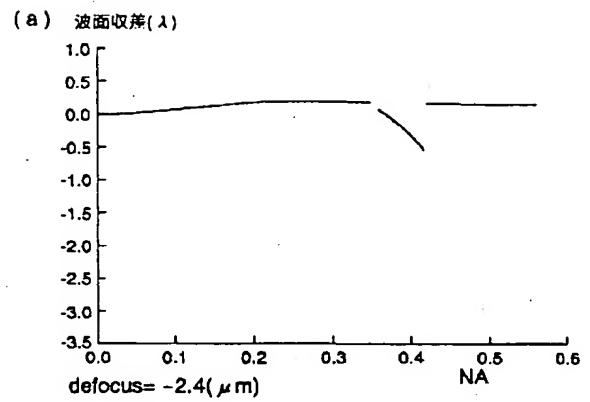
【図 4 5】



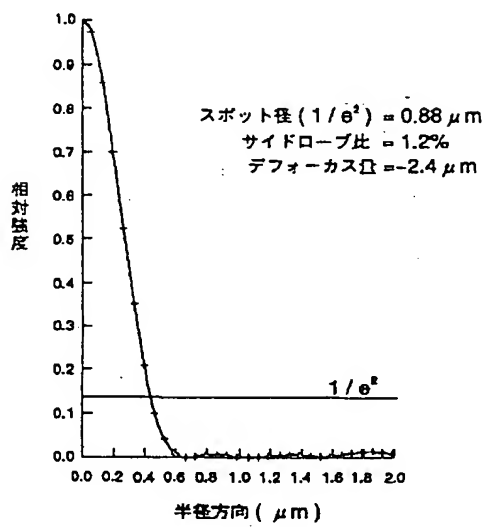
【図 4 6】



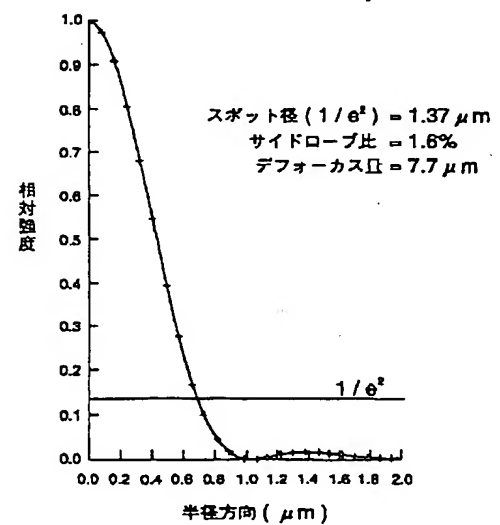
【図 4 7】



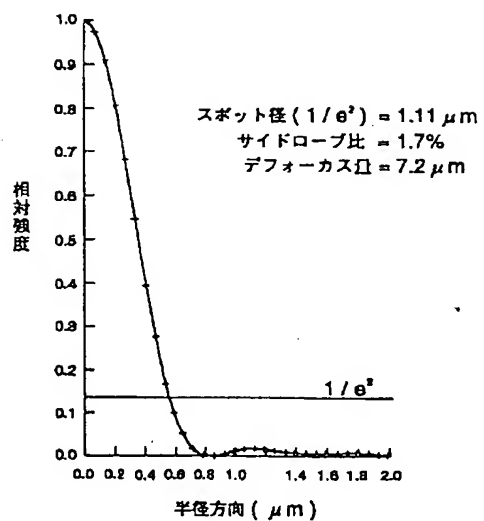
【図 4 8】



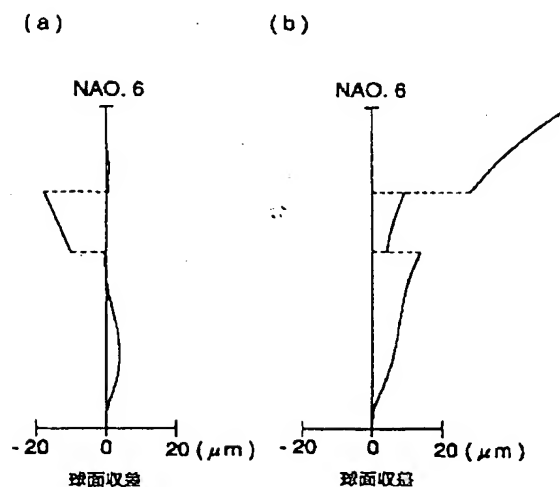
【図 4 9】



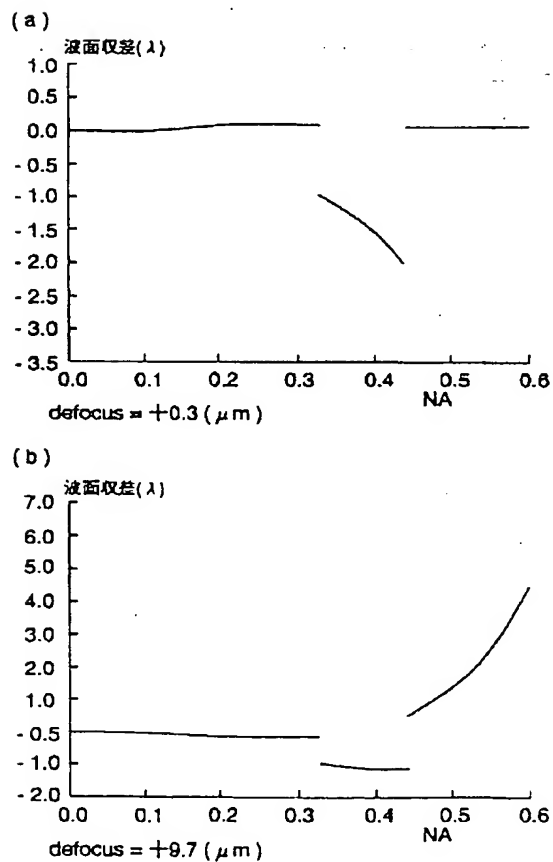
【図 5 0】



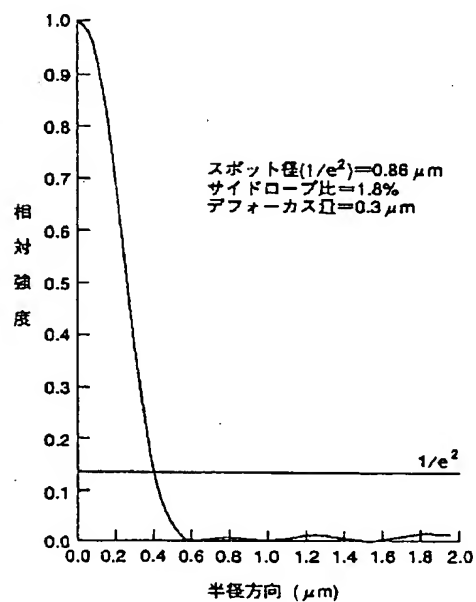
【図 5 1】



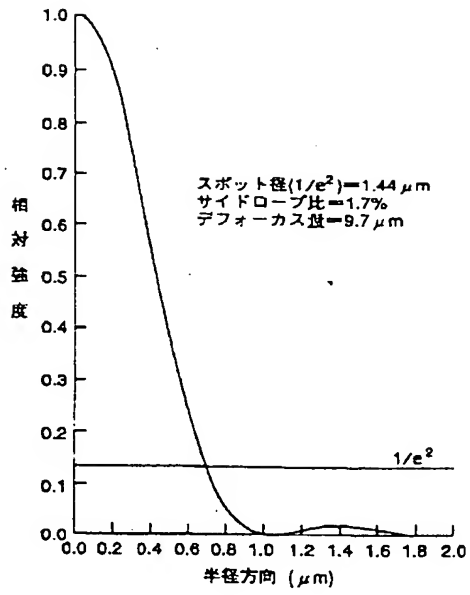
【図 5 2】



【図 5 3】



【図 5 4】



【図 5 5】

